



Escuela de Caminos

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
UPC BARCELONATECH

EVALUACIÓN DEL DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES SEGÚN EL MÉTODO DE DOBLE ANÁLISIS LINEAL (DLA) EN EDIFICIOS ALTOS CON SISTEMAS DUALES

Trabajo realizado por:

José David Andrade Sojos

Dirigido por:

Jesús Miguel Bairán García

Máster en:

Ingeniería Estructural y de la Construcción

Barcelona, 9 de mayo de 2019

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

TRABAJO FINAL DE MASTER

RESUMEN

La frecuente ocurrencia de eventos sísmicos ha sido una de las razones para el estudio de nuevos métodos de análisis estructural que aproximen de una mejor manera el comportamiento sísmico de las edificaciones, todo con el objetivo de aumentar el nivel de seguridad de las personas a un bajo costo económico.

Por lo cual, este trabajo de fin de máster pretende evaluar el método de Doble Análisis Lineal (DLA) en edificios de altura con sistemas duales. Este método fue desarrollado en la Universidad Politécnica de Cataluña con el objetivo de aproximar el comportamiento no lineal de las estructuras mediante una curva bilineal, lo cual agiliza el análisis en tiempo y evita el uso de softwares complejos. Esta aproximación bilineal se obtiene a partir de realizar dos análisis lineales a una estructura estática y una estructura auxiliar.

Algunas ventajas del método es que se puede elegir la intensidad del daño, la demanda de ductilidad y el comportamiento tanto global como local de la estructura.

Para la evaluación del método se ha definido algunos casos de estudio que varían en altura y en distribución de planta. A éstos se les aplica el método DLA, el método estático no lineal Push-Over y el método dinámico no lineal Time History mediante el software de modelado de estructuras ETABS.

Para la aplicación del método DLA en el software de análisis se utilizó el método de columna ancha, el cual facilita la ubicación de las rótulas en muros. Este método fue validado por medio de un análisis comparativo con el método de elementos finitos.

Para comparar los resultados obtenidos mediante el método DLA y los métodos no lineales se definen 3 indicadores: Cortante basal, desplazamientos en el techo y los giros plásticos en rótulas. El método DLA, al estar basado en análisis lineales, puede considerar diferentes tipos de combinaciones modales, por lo cual se realizó un análisis comparativo entre aplicar el método con una combinación CQC y SRSS.

Además, se comparó el comportamiento de la curva bilineal obtenida por el método DLA con las curvas de capacidad del método no lineal Push-Over, donde se obtuvo los puntos de desempeño de ambas curvas por el método del Eurocódigo 8.

Finalmente se realizó el análisis comparativo entre el método DLA, Push-Over y Time History según los indicadores mencionados, obteniendo las conclusiones y recomendaciones para futuras lineales de investigación.

ABSTRACT

The frequent occurrence of devastating seismic events has led to the study of new methods of structural analysis that better approximate the seismic behavior of buildings, all with the aim of increasing the level of safety with a low economic cost.

Therefore, this Master's Thesis aims to evaluate the method of Double Linear Analysis (DLA) in high-rise buildings with dual systems. This method was developed at the Universitat Politècnica de Catalunya to approximate the nonlinear behavior of the structures through a bilinear curve, which speeds up the analysis time and avoids the use of complex software. This bilinear approximation is obtained from two linear analyses to a static structure and an auxiliary structure. Some advantages of this method are that you can choose the intensity of the damage, ductility demand, and the global and local behavior of the structure.

For the evaluation of the method, some case studies have been chosen that vary in height and in plant distribution. In these cases, the DLA method, the static nonlinear Push-Over method and the dynamic nonlinear Time History method were applied using the structural modeling software ETABS. For the application of the DLA method in the analysis software, the wide column method was used, which facilitates the placement of the hinges in walls. This method was validated by means of a comparative analysis with the finite element method.

To compare the results obtained by the DLA method and nonlinear methods, 3 indicators are defined: base shear, displacements in the roof, and plastic rotation in hinges. The DLA method, based on linear analysis, can consider different types of modal combinations, hence a comparative analysis was made between applying the method with a CQC and SRSS combination. In addition, the behavior of the bilinear curve obtained by the DLA method was compared with the capacity curves of the nonlinear Push-Over method, wherein the performance points of both curves were obtained by the Eurocode 8 method.

Finally, the comparative analysis between the DLA, Push-Over and Time History methods was performed according to the above indicators, obtaining the conclusions and recommendations for future research lines.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres que han sido mi mayor apoyo, ejemplo e inspiración.
A mi hermano y a toda mi familia por siempre creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por siempre cuidar y guiar mi vida.
A mi director Ing. Jesús Bairán que con sus conocimientos y tutoría hizo posible la
realización de este trabajo.
A todos mis profesores que con su sabiduría y apoyo contribuyeron en mi formación
personal y profesional, y a todas las personas que me apoyaron en esta etapa de mi
vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivos Generales	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Metodología de trabajo.....	3
2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO	4
2.1 Métodos de Análisis Estructural bajo efectos Sísmicos	4
2.1.1 Métodos lineales	4
2.1.1.1 Método de análisis de la fuerza lateral	4
2.1.1.2 Análisis modal mediante espectro de respuesta	5
2.1.2 Métodos no lineales	6
2.1.2.1 Análisis estático no lineal (Pushover).....	6
2.1.2.2 Análisis dinámico no lineal (Time History)	8
2.2 Método de Diseño basado en Desplazamientos	8
2.3 Método de Columna Ancha.....	9
2.4 Método del Doble Análisis Lineal (DLA)	10
2.4.1 Metodología del Doble Análisis Lineal (DLA)	11
2.4.2 Combinación de estructuras y control de daño	13
3. DEFINICIÓN DE CASOS DE ESTUDIO	17
3.1 Material	17
3.2 Elevación.....	17
3.3 Sistema estructural.....	18
3.4 Planta.....	18
3.5 Normativa.....	18
3.6 Casos de Estudio	19

4.	MODELIZACIÓN DE ESTRUCTURAS.....	23
4.1	Cargas	23
4.1.1	Gravitacionales.....	23
4.1.1.1	Carga Muerta (CM):.....	23
4.1.1.2	Sobrecarga muerta (SM):.....	23
4.1.1.3	Carga Viva (CV):	25
4.1.2	Sísmicas (E)	25
4.2	Combinaciones de Carga.....	27
4.2.1	Para estados límites últimos:	27
4.2.1.1	Situación Permanente:.....	27
4.2.1.2	Situación Sísmica:.....	27
4.2.2	Para estados límites de servicio:	27
4.2.2.1	Situación Poco Probable:.....	27
4.2.2.2	Situación Casi Permanente:	28
4.3	Variables del comportamiento global.....	28
4.3.1	Períodos.....	28
4.3.2	Participación de masas	28
4.3.3	Derivas de piso	28
4.4	Edificio Tipo 1.....	29
4.4.1	Materiales.....	29
4.4.1.1	Hormigón	29
4.4.1.2	Acero de Refuerzo.....	29
4.4.2	Elementos	29
4.4.2.1	Vigas.....	30
4.4.2.2	Columnas	30
4.4.2.3	Muros de corte	30
4.4.2.4	Losas	30
4.4.3	Secciones.....	31
4.4.4	Modelo método elementos finitos (MEF) y modelo método de columna ancha (MCA)	32
4.4.4.1	Modelo método de elementos finitos	32
4.4.4.2	Modelo método de columna ancha	34
4.5	Edificio Tipo 2.....	37
4.5.1	Materiales.....	37
4.5.1.1	Hormigón	37
4.5.1.2	Acero de Refuerzo.....	37
4.5.2	Elementos	37
4.5.3	Secciones.....	37
4.5.4	Modelo método elementos finitos (MEF) y modelo método de columna ancha (MCA)	37

4.5.4.1	Modelo método de elementos finitos	37
4.5.4.2	Modelo método de columna ancha	40
4.6	Edificio Tipo 3.....	42
4.6.1	Materiales.....	42
4.6.1.1	Hormigón	42
4.6.1.2	Acero de Refuerzo.....	43
4.6.2	Elementos	43
4.6.3	Secciones.....	43
4.6.4	Modelo método elementos finitos (MEF) y modelo método de columna ancha (MCA)	44
4.6.4.1	Modelo método de elementos finitos	44
4.6.4.2	Modelo método de columna ancha	47
4.7	Edificio Tipo A1	50
4.7.1	Materiales.....	50
4.7.1.1	Hormigón	50
4.7.1.2	Acero de Refuerzo.....	50
4.7.2	Elementos	50
4.7.3	Secciones.....	50
4.7.4	Modelo método elementos finitos (MEF) y modelo método de columna ancha (MCA)	51
4.7.4.1	Modelo método de elementos finitos	51
4.7.4.2	Modelo método de columna ancha	53
4.8	Comparativa entre Método de Columna (MCA) y Método de Elementos Finitos (MEF)	56
4.8.1	Edificio Tipo 1.....	56
4.8.2	Edificio Tipo 2.....	59
4.8.3	Edificio Tipo 3.....	62
4.8.4	Edificio Tipo A1	66
5.	APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE DOBLE ANÁLISIS LINEAL	70
5.1	Doble Análisis Lineal (DLA).....	70
5.1.1	Modelado de la estructura auxiliar	71
5.1.2	Edificio Tipo 1.....	73
5.1.2.1	Combinación modal CQC.....	74
5.1.2.2	Combinación modal SRSS	77
5.1.3	Edificio Tipo 2.....	79
5.1.3.1	Combinación modal CQC.....	80
5.1.3.2	Combinación modal SRSS	84
5.1.4	Edificio Tipo 3.....	86
5.1.4.1	Combinación modal CQC.....	87
5.1.4.2	Combinación modal SRSS	91

5.1.5	Comparativa entre modelos utilizando combinación modal CQC y SRSS	93
5.2	Análisis Estático No Lineal Push-Over	97
5.2.1	Definición de Rótulas Plásticas	97
5.2.2	Edificio Tipo 1.....	98
5.2.3	Edificio Tipo 2.....	100
5.2.4	Edificio Tipo 3.....	102
5.3	Análisis Dinámico No Lineal Time History.....	104
5.3.1	Sismos Artificiales.....	105
5.3.2	Definición de Rótulas Plásticas	106
5.3.3	Edificio Tipo 1.....	107
5.3.4	Edificio Tipo 2.....	109
5.3.5	Edificio Tipo 3.....	112
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	115
6.1	Análisis comparativo.....	115
6.1.1	Edificio Tipo 1.....	115
6.1.2	Edificio Tipo 2.....	119
6.1.3	Edificio Tipo 3.....	124
6.2	Propuesta para el cálculo de desplazamientos y giros plásticos	129
6.2.1	Edificio Tipo 1.....	130
6.2.2	Edificio Tipo 2.....	131
6.2.3	Edificio Tipo 3.....	132
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
7.1	Conclusiones	134
7.2	Recomendaciones y futuras líneas de investigación	136
8.	REFERENCIAS.....	137
9.	ANEJOS	139
	Anejo 1: Tablas de resultados del análisis lineal aplicado a la estructura elástica y auxiliar de los casos de estudio para el método de DLA según combinación modal CQC.....	139
	Anejo 2: Tablas de resultados del análisis lineal aplicado a la estructura elástica y auxiliar de los casos de estudio para el método de DLA según combinación modal SRSS	143
	Anejo 3: Tablas de resultados de cortantes y desplazamientos por piso de los casos de estudio según el método DLA con la combinación modal CQC	147
	Anejo 4: Tablas de resultados de cortantes y desplazamientos por piso de los casos de estudio según el método de DLA con la combinación modal SRSS.....	161
	Anejo 5: Tablas de resultados de cortantes y desplazamientos en el techo según punto de desempeño obtenido por método Eurocódigo 8 en curvas de capacidad y curvas bilineales.....	175

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Curvaturas según el tipo de sección. (Priestley et al., 2007)	14
Tabla 2: Coeficiente C_i según el sistema estructural. (Priestley et al., 2007)	15
Tabla 3: Sobre Carga Muerta para diferentes elementos estructurales	24
Tabla 4: Sobre Carga Muerta Total	24
Tabla 5: Carga Viva para edificios residenciales	25
Tabla 6: Límites de daño por Derivas de piso	29
Tabla 7: Características Hormigón 40 Mpa	29
Tabla 8: Características Acero de Refuerzo	29
Tabla 9: Secciones Edificio Tipo 1	31
Tabla 10: Períodos y participación de masa Edificio Tipo 1 según método de elementos finitos	32
Tabla 11: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 1 según método de elementos finitos	33
Tabla 12: Períodos y participación de masa Edificio Tipo 1 según método de columna ancha	35
Tabla 13: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 1 según método columna ancha	35
Tabla 14: Secciones Edificio Tipo 2	37
Tabla 15: Períodos y participación de masa Edificio Tipo 2 según método de elementos finitos	38
Tabla 16: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 2 según método de elementos finitos	39
Tabla 17: Períodos y participación de masa Edificio Tipo 2 según método de columna ancha	41
Tabla 18: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 2 según método columna ancha	41
Tabla 19: Características Hormigón 50 MPa	43
Tabla 20: Secciones Edificio Tipo 3	43
Tabla 21: Períodos y participación de masa Edificio Tipo 3 según método de elementos finitos	44
Tabla 22: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 3 según método de elementos finitos	45
Tabla 23: Períodos y participación de masa Edificio Tipo 3 según método de columna ancha	47
Tabla 24: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 3 según método columna ancha	48
Tabla 25: Secciones Edificio Tipo A1	50
Tabla 26: Períodos y participación de masa Edificio Tipo A1 según método de elementos finitos	51
Tabla 27: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo A1 según método de elementos finitos	52
Tabla 28: Períodos y participación de masa Edificio Tipo A1 según método de columna ancha	54
Tabla 29: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo A1 según método columna ancha	54
Tabla 30: Comparativa de Períodos Edificio Tipo 1 según MEF y MCA	56
Tabla 31: Comparativa de Cortantes en los muros Edificio Tipo 1 según MEF y MCA	58
Tabla 32: Comparativa de Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 1 según MEF y MCA	58

Tabla 33: Comparativa de Períodos Edificio Tipo 2 según MEF y MCA	59
Tabla 34: Comparativa de Cortantes en los muros Edificio Tipo 2 según MEF y MCA	61
Tabla 35: Comparativa de Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 2 según MEF y MCA	61
Tabla 36: Comparativa de Períodos Edificio Tipo 3 según MEF y MCA	62
Tabla 37: Comparativa de Cortantes en los muros Edificio Tipo 3 según MEF y MCA	64
Tabla 38: Comparativa de Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 3 según MEF y MCA	65
Tabla 39: Comparativa de Períodos Edificio Tipo A1 según MEF y MCA	66
Tabla 40: Comparativa de Cortantes en los muros Edificio Tipo A1 según MEF y MCA	68
Tabla 41: Comparativa de Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo A1 según MEF y MCA ...	68
Tabla 42: Amortiguamiento del sistema y factor de corrección de amortiguamiento en DLA CQC Edificio Tipo 1	74
Tabla 43: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método DLA CQC Edificio Tipo 1	74
Tabla 44: Resultados de giro plástico en rótulas por método DLA Edificio Tipo 1	76
Tabla 45: Amortiguamiento del sistema y factor de corrección de amortiguamiento en DLA SRSS Edificio Tipo 1	77
Tabla 46: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método DLA SRSS Edificio Tipo 1	78
Tabla 47: Amortiguamiento del sistema y factor de corrección de amortiguamiento en DLA CQC Edificio Tipo 2	80
Tabla 48: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método DLA CQC Edificio Tipo 2	81
Tabla 49: Resultados de giro plástico en rótulas por método DLA Edificio Tipo 2	83
Tabla 50: Amortiguamiento del sistema y factor de corrección de amortiguamiento en DLA SRSS Edificio Tipo 2	84
Tabla 51: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método DLA SRSS Edificio Tipo 2	85
Tabla 52: Amortiguamiento del sistema y factor de corrección de amortiguamiento en DLA CQC Edificio Tipo 3	87
Tabla 53: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método DLA CQC Edificio Tipo 3	88
Tabla 54: Resultados de giro plástico en rótulas por método DLA Edificio Tipo 3	90
Tabla 55: Amortiguamiento del sistema y factor de corrección de amortiguamiento en DLA SRSS Edificio Tipo 3	91
Tabla 56: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método DLA SRSS Edificio Tipo 3	92
Tabla 57: Comparativa entre combinación modal CQC y SRSS en método DLA Edificio Tipo 1 Sentido X	93
Tabla 58: Comparativa entre combinación modal CQC y SRSS en método DLA Edificio Tipo 1 Sentido Y	94
Tabla 59: Comparativa entre combinación modal CQC y SRSS en método DLA Edificio Tipo 2 Sentido X	94
Tabla 60: Comparativa entre combinación modal CQC y SRSS en método DLA Edificio Tipo 2 Sentido Y	95

Tabla 61: Comparativa entre combinación modal CQC y SRSS en método DLA Edificio Tipo 3 Sentido X	95
Tabla 62: Comparativa entre combinación modal CQC y SRSS en método DLA Edificio Tipo 3 Sentido Y	96
Tabla 63: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método Push-Over Edificio Tipo 1	99
Tabla 64: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método Push-Over Edificio Tipo 2	101
Tabla 65: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método Push-Over Edificio Tipo 3	103
Tabla 66: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método Time History Edificio Tipo 1	107
Tabla 67: Resultados de giro plástico en rótulas por método Time History Edificio Tipo 1	108
Tabla 68: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método Time History Edificio Tipo 2	110
Tabla 69: Resultados de giro plástico en rótulas por método Time History Edificio Tipo 2	111
Tabla 70: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método Time History Edificio Tipo 3	112
Tabla 71: Resultados de giro plástico en rótulas por método Time History Edificio Tipo 3	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fundamentos del método de diseño directo basado en desplazamientos (Priestley et al., 2007)	9
Figura 2: Modelo de pórtico equivalente de un muro de corte (Tolga, 2004)	10
Figura 3: Tipo de estructuras en DLA: a. Estructura Elástica; b. Estructura Auxiliar (Montoya, 2016)	11
Figura 4: Estimación del estado final de los pasos de diseño para el método DLA. (Montoya, 2016) ..	12
Figura 5: Superposición de la estructura elástica y auxiliar en un diagrama de fuerza- desplazamiento en términos del parámetro α . (Montoya, 2016)	13
Figura 6: Sistema Estructural según altura. (Ali & Moon, 2007)	18
Figura 7: Distribución en planta Edificio Tipo 1 y 3	19
Figura 8: Distribución en planta Edificio Tipo 2	19
Figura 9: Distribución en planta Edificio Tipo A1	20
Figura 10: Elevaciones Eje 1 y Eje B Edificio Tipo 1	20
Figura 11: Elevaciones Eje 3 y Eje B Edificio Tipo 2	21
Figura 12: Elevaciones Eje 1 y Eje B Edificio Tipo 3	21
Figura 13: Elevaciones Eje 2 y Eje C Edificio Tipo A1	22
Figura 14: Definición del espectro de respuesta elástico. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)	26
Figura 15: Geometría de la sección de Losa Aligerada	30
Figura 16: Modelo 3D del Edificio Tipo 1 con método de elementos finitos	32
Figura 17: Cortantes en los muros Edificio Tipo 1 según método de elementos finitos	33

Figura 18: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 1 según método de elementos finitos.....	34
Figura 19: Modelo 3D del Edificio Tipo 1 con método de columna ancha.....	34
Figura 20: Cortantes en los muros Edificio Tipo 1 según método de columna ancha.....	36
Figura 21: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 1 según método de columna ancha.....	36
Figura 22: Modelo 3D del Edificio Tipo 2 con método de elementos finitos	38
Figura 23: Cortantes en los muros Edificio Tipo 2 según método de elementos finitos.....	39
Figura 24: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 2 según método de elementos finitos.....	40
Figura 25: Modelo 3D del Edificio Tipo 2 con método de columna ancha.....	40
Figura 26: Cortantes en los muros Edificio Tipo 2 según método de columna ancha.....	42
Figura 27: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 2 según método de columna ancha.....	42
Figura 28: Modelo 3D del Edificio Tipo 3 con método de elementos finitos	44
Figura 29: Cortantes en los muros Edificio Tipo 3 según método de elementos finitos.....	46
Figura 30: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 3 según método de elementos finitos.....	46
Figura 31: Modelo 3D del Edificio Tipo 3 con método de columna ancha.....	47
Figura 32: Cortantes en los muros Edificio Tipo 3 según método de columna ancha.....	49
Figura 33: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 3 según método de columna ancha.....	49
Figura 34: Modelo 3D del Edificio Tipo A1 con método de elementos finitos.....	51
Figura 35: Cortantes en los muros Edificio Tipo A1 según método de elementos finitos	52
Figura 36: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo A1 según método de elementos finitos	53
Figura 37: Modelo 3D del Edificio Tipo A1 con método de columna ancha	53
Figura 38: Cortantes en los muros Edificio Tipo A1 según método de columna ancha	55
Figura 39: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo A1 según método de columna ancha	55
Figura 40: Ubicación de las rótulas en vigas.....	72
Figura 41: Ubicación de las rótulas en muros.....	72
Figura 42: Distribución de rótulas perfectas en planta estructura auxiliar Edificio Tipo 1	73
Figura 43: Distribución de rótulas perfectas en elevación estructura auxiliar Edificio Tipo 1.....	73
Figura 44: Ubicación de rótulas analizadas en DLA Edificio Tipo 1	75
Figura 45: Distribución de rótulas perfectas en planta estructura auxiliar Edificio Tipo 2	79
Figura 46: Distribución de rótulas perfectas en elevación estructura auxiliar Edificio Tipo 2.....	80
Figura 47: Ubicación de rótulas analizadas en DLA Edificio Tipo 2	82
Figura 48: Distribución de rótulas perfectas en planta estructura auxiliar Edificio Tipo 3	86
Figura 49: Distribución de rótulas perfectas en elevación estructura auxiliar Edificio Tipo 3.....	87
Figura 50: Ubicación de rótulas analizadas en DLA Edificio Tipo 3	89
Figura 51: Diagrama Carga-Deformación para rótulas plásticas. (ASCE 41, 2013)	97
Figura 52: Esquema de distribución de rótulas plásticas en vigas	98
Figura 53: Función rampa para aplicación de carga gravitacional en análisis Time History.....	105
Figura 54: Función de intensidad	106

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1: Espectro de respuesta sísmico elástico de diseño	26
Gráfica 2: Comparativa de desplazamientos Edificio Tipo 1 según MEF y MCA	57
Gráfica 3: Comparativa de derivas de piso Edificio Tipo 1 según MEF y MCA	57
Gráfica 4: Comparativa de desplazamientos Edificio Tipo 2 según MEF y MCA	60
Gráfica 5: Comparativa de derivas de piso Edificio Tipo 2 según MEF y MCA	60
Gráfica 6: Comparativa de desplazamientos Edificio Tipo 3 según MEF y MCA	63
Gráfica 7: Comparativa de derivas de piso Edificio Tipo 3 según MEF y MCA	63
Gráfica 8: Comparativa de desplazamientos Edificio Tipo A1 según MEF y MCA	67
Gráfica 9: Comparativa de derivas de piso Edificio Tipo A1 según MEF y MCA	67
Gráfica 10: Cortante Basal Edificio Tipo 1 según DLA CQC	75
Gráfica 11: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 1 según DLA CQC	75
Gráfica 12: Giro Plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 1 según DLA	77
Gráfica 13: Cortante Basal Edificio Tipo 1 según DLA SRSS	78
Gráfica 14: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 1 según DLA SRSS	79
Gráfica 15: Cortante Basal Edificio Tipo 2 según DLA CQC	81
Gráfica 16: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 2 según DLA CQC	82
Gráfica 17: Giro Plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 2 según DLA	84
Gráfica 18: Cortante Basal Edificio Tipo 2 según DLA SRSS	85
Gráfica 19: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 2 según DLA SRSS	86
Gráfica 20: Cortante Basal Edificio Tipo 3 según DLA CQC	88
Gráfica 21: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 3 según DLA CQC	89
Gráfica 22: Giro Plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 3 según DLA	91
Gráfica 23: Cortante Basal Edificio Tipo 3 según DLA SRSS	92
Gráfica 24: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 3 según DLA SRSS	93
Gráfica 25: Cortante Basal Edificio Tipo 1 según método Push-Over	99
Gráfica 26: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 1 según método Push-Over	99
Gráfica 27: Curvas de capacidad del método Push-Over Edificio Tipo 1 Sentido X	100
Gráfica 28: Curvas de capacidad del método Push-Over Edificio Tipo 1 Sentido Y	100
Gráfica 29: Cortante Basal Edificio Tipo 2 según método Push-Over	101
Gráfica 30: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 2 según método Push-Over	101
Gráfica 31: Curvas de capacidad del método Push-Over Edificio Tipo 2 Sentido X	102
Gráfica 32: Curvas de capacidad del método Push-Over Edificio Tipo 2 Sentido Y	102
Gráfica 33: Cortante Basal Edificio Tipo 3 según método Push-Over	103
Gráfica 34: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 3 según método Push-Over	103
Gráfica 35: Curvas de capacidad del método Push-Over Edificio Tipo 3 Sentido X	104
Gráfica 36: Curvas de capacidad del método Push-Over Edificio Tipo 3 Sentido Y	104
Gráfica 37: Acelerograma Artificial	106

Gràfica 38: Cortante Basal Edificio Tipo 1 según método Time History	107
Gràfica 39: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 1 según método Time History	108
Gràfica 40: Giro Plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 1 según método Time History	109
Gràfica 41: Cortante Basal Edificio Tipo 2 según método Time History	110
Gràfica 42: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 2 según método Time History	110
Gràfica 43: Giro Plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 2 según método Time History	112
Gràfica 44: Cortante Basal Edificio Tipo 3 según método Time History	113
Gràfica 45: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 3 según método Time History	113
Gràfica 46: Giro Plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 3 según método Time History	114
Gràfica 47: Comparativa entre curvas de capacidad y método DLA Edificio Tipo 1 Sentido X	116
Gràfica 48: Comparativa entre curvas de capacidad y método DLA Edificio Tipo 1 Sentido Y	116
Gràfica 49: Comparativa cortante basal obtenido por puntos de desempeño según Eurocódigo 8 en las curvas de capacidad y curvas bilineales en Edificio Tipo 1	117
Gràfica 50: Comparativa desplazamiento en el techo obtenido por puntos de desempeño según Eurocódigo 8 en las curvas de capacidad y curvas bilineales en Edificio Tipo 1	117
Gràfica 51: Comparativa cortante basal Edificio Tipo 1 según método DLA, Push-Over y Time History	118
Gràfica 52: Comparativa desplazamiento en el techo Edificio Tipo 1 según método DLA, Push-Over y Time History	118
Gràfica 53: Comparativa giro plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 1 según método DLA y Time History	119
Gràfica 54: Comparativa entre curvas de capacidad y método DLA Edificio Tipo 2 Sentido X	120
Gràfica 55: Comparativa entre curvas de capacidad y método DLA Edificio Tipo 2 Sentido Y	120
Gràfica 56: Comparativa cortante basal obtenido por puntos de desempeño según Eurocódigo 8 en las curvas de capacidad y curvas bilineales en Edificio Tipo 2	121
Gràfica 57: Comparativa desplazamiento en el techo obtenido por puntos de desempeño según Eurocódigo 8 en las curvas de capacidad y curvas bilineales en Edificio Tipo 2	121
Gràfica 58: Comparativa cortante basal Edificio Tipo 2 según método DLA, Push-Over y Time History	122
Gràfica 59: Comparativa desplazamiento en el techo Edificio Tipo 2 según método DLA, Push-Over y Time History	122
Gràfica 60: Comparativa giro plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 2 según método DLA y Time History	123
Gràfica 61: Comparativa entre curvas de capacidad y método DLA Edificio Tipo 3 Sentido X	124
Gràfica 62: Comparativa entre curvas de capacidad y método DLA Edificio Tipo 3 Sentido Y	125
Gràfica 63: Comparativa cortante basal obtenido por puntos de desempeño según Eurocódigo 8 en las curvas de capacidad y curvas bilineales en Edificio Tipo 3	125
Gràfica 64: Comparativa desplazamiento en el techo obtenido por puntos de desempeño según Eurocódigo 8 en las curvas de capacidad y curvas bilineales en Edificio Tipo 3	126
Gràfica 65: Comparativa cortante basal Edificio Tipo 3 según método DLA, Push-Over y Time History	126
Gràfica 66: Comparativa desplazamiento en el techo Edificio Tipo 3 según método DLA, Push-Over y Time History	127

Gràfica 67: Comparativa giro plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 3 según método DLA y Time History	128
Gràfica 68: Propuesta de función cúbica en el cálculo de desplazamiento en el techo Edificio Tipo 1	130
Gràfica 69: Propuesta de función cúbica en el cálculo de giro plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 1 ..	131
Gràfica 70: Propuesta de función cúbica en el cálculo de desplazamiento en el techo Edificio Tipo 2	131
Gràfica 71: Propuesta de función cúbica en el cálculo de giro plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 2 ..	132
Gràfica 72: Propuesta de función cúbica en el cálculo de desplazamiento en el techo Edificio Tipo 3	132
Gràfica 73: Propuesta de función cúbica en el cálculo de giro plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 3 ..	133

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

Uno de los mayores problemas a los que se exponen las edificaciones a lo largo del mundo son los movimientos sísmicos. Estos movimientos son una de las principales causas de colapso estructural, el cual genera grandes pérdidas humanas y económicas. Por ello, se ha puesto gran interés en el desarrollo de métodos y tecnologías sismorresistentes.

La ingeniería sismorresistente es una disciplina que se encarga de estudiar el comportamiento de las construcciones con el fin de diseñarlas y construirlas para que respondan de manera adecuada frente a una acción sísmica. En la actualidad esta rama dispone de soluciones que permiten reducir el riesgo sísmico mediante el uso de distintos materiales estructurales, sistemas constructivos, criterios de diseño y métodos de análisis. Sin embargo, por razones sociales, culturales o económicas, estos avances no han alcanzado una distribución global uniforme. (Crisafulli, 2018)

A partir de los años 90's, por las grandes pérdidas económicas producidas por los sismos moderados de Loma Prieta, Northridge y Kobe, se puso especial énfasis en el desarrollo de una nueva generación de códigos sismorresistentes basados en prestaciones. Todo esto mediante la creación del comité Visión 2000. El diseño sismorresistente por prestaciones intenta considerar el nivel de daño permitido en la estructura según diferentes períodos de retorno de los eventos sísmicos.

Para el diseño sísmico de edificaciones, por aspectos económicos, no es viable que se mantenga un comportamiento lineal frente al sismo de diseño, esto por lo poco predecible del fenómeno y que la probabilidad de ocurrencia de grandes intensidades es muy pequeña. Lo cual ha generado se plantee una postura de equilibrio, donde se debe aceptar

daño y evitar el colapso de la estructura ante un sismo excepcionalmente severo y, por otra parte, evitar daños ante sismos moderados con alta probabilidad de ocurrencia. (Bazán & Meli, 1999)

Una de las maneras de optimizar el diseño es la aplicación de criterios no lineales en los métodos de análisis. Estos métodos consideran el comportamiento plástico (no lineal) de la estructura ante cargas sísmicas. Los métodos no lineales más utilizados son: Método estático no lineal Push-Over y el método dinámico no lineal Time History. Estos métodos de análisis requieren de herramientas avanzadas y de un conocimiento especializado para su desarrollo, lo cual hace que su aplicación sea limitada.

Por tal motivo (Montoya, 2016) plantea la aplicación de un método de Doble Análisis Lineal con el que se consiguen resultados equivalentes a realizar un análisis no lineal estático o dinámico. Este método al ser lineal es de fácil aplicación, permite elegir la demanda de ductilidad y además la intensidad de daño en la estructura.

El propósito del presente trabajo es evaluar el método de Doble Análisis Lineal (DLA) en edificios regulares e irregulares de hormigón armado de gran altura mediante una comparativa con los métodos de análisis no lineal cotidianos. Además, se observará los efectos de usar diferentes métodos de combinación modal en el análisis DLA. Todo esto mediante un software de modelos tridimensionales de elementos finitos denominado ETABS (2016).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

- Evaluar el método de Doble Análisis Lineal en edificios de altura mediante una comparativa con la aplicación de los métodos no lineales cotidianos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudiar el método de Doble Análisis Lineal
- Seleccionar los casos de estudio para los requerimientos de planta (regular e irregular) y elevación (mediana y gran altura) en edificaciones.
- Modelizar las estructuras en el software de análisis ETABS, validando el uso del método de columna ancha.
- Aplicar el método de Doble Análisis Lineal en los casos de estudio.
- Comparar los efectos de utilizar diferentes métodos de combinación modal en la aplicación del método de Doble Análisis Lineal.
- Evaluar los resultados obtenidos del método de Doble Análisis Lineal en los casos de estudio mediante los métodos no lineales cotidianos (Push-Over y Time History).

- Realizar un análisis comparativo entre los resultados del método de Doble Análisis Lineal y los métodos no lineales.

1.3 Metodología de trabajo

Para el desarrollo del presente trabajo final de máster se establece la siguiente metodología de trabajo:

Se parte del estudio del estado del conocimiento del método de Doble Análisis Lineal y la familiarización de este.

Se definen los casos de estudio, los mismos que cumplirán con las exigencias de planta y elevación, y que serán dimensionados según el tipo de material, un predimensionamiento de secciones y una comprobación de parámetros de comportamiento global.

Se aplica dos tipos de métodos de modelado de estructuras para pórticos con muros de corte. El método de elementos finitos y el método de columna ancha. Se validará el método de columna ancha suponiendo que el método de elementos finitos es el óptimo.

Se aplica el método de Doble Análisis Lineal a los casos de estudio, variando las diferentes combinaciones modales en los análisis lineales. Se utilizarán las combinaciones CQC y SRSS.

Se evalúa los resultados obtenidos del método de Doble Análisis Lineal mediante los métodos de análisis no lineal Push-Over y Time History.

Se realiza un análisis comparativo entre los resultados del Doble Análisis Lineal con las diferentes combinaciones modales.

Se realiza un análisis comparativo entre los resultados del Doble Análisis Lineal y los resultados de la evaluación de los métodos no lineales. Los indicadores de comparación entre los métodos serán el cortante en la base, los desplazamientos del último piso y los giros plásticos de algunas de las rótulas más desfavorables de los casos de estudio.

Según esta comparativa se verificará si el método de Doble Análisis Lineal tiene un comportamiento adecuado y se emitirán las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

2.1 Métodos de Análisis Estructural bajo efectos Sísmicos

Los métodos de análisis de estructuras han ido evolucionando juntamente con los avances de la ingeniería sismorresistente y de las herramientas computacionales necesarias para realizar su cálculo.

Los reglamentos correspondientes a cada país permiten realizar tanto análisis estáticos y dinámicos lineales como no lineales, según sea el caso de estudio y considerando el sistema estructural que será aplicado. Para los análisis dinámicos lineales y no lineales se aplicará la acción sísmica mediante acelerogramas en función del tiempo. Los acelerogramas se pueden obtener a partir de sismos reales o de forma artificial, pero deben cumplir con requisitos específicos para asegurar que desarrollan de forma adecuada el sismo de diseño.

2.1.1 Métodos lineales

2.1.1.1 Método de análisis de la fuerza lateral

Este método representa en forma simplificada la acción sísmica por medio de fuerzas horizontales, que están distribuidas según la altura de la estructura. Se utiliza un análisis estático lineal para la obtención de fuerzas internas, así como los desplazamientos del sistema. Este criterio es comúnmente aplicado a estructuras de baja o mediana altura que tienen una regularidad en planta y elevación, y que su respuesta no está afectada por modos de vibración superiores al fundamental. Se podría decir que este método es básico en el análisis estructural bajo efectos sísmicos.

De manera general, los pasos a realizar para la aplicación de este método son:

- Determinación del espectro de diseño
- Cálculo del período fundamental de vibración de la estructura
- Determinación del cortante basal
- Determinación de la distribución de fuerzas laterales
- Verificación de cumplir desplazamientos máximos permitidos (Derivas)

2.1.1.2 Análisis modal mediante espectro de respuesta

El análisis modal se aplica de manera similar al análisis de fuerzas laterales, con la diferencia que los cálculos de respuesta son realizados mediante espectros elásticos. Este método se aplica a estructuras que no cumplen con las condiciones del método de fuerza lateral. Como se especifica en el (Eurocódigo 8, 2011), se debe tomar en cuenta la respuesta de todos los modos de vibración que contribuyan de forma significativa a la respuesta global de la estructura.

Un aspecto importante es la combinación modal en el análisis de la estructura. Las combinaciones más comunes son: CQC (complete quadratic combination) y SRSS (square root sum of squares).

- SRSS (Raíz cuadrada de la suma de cuadrados)

Este procedimiento fue desarrollado por Rosenblueth en 1951. La respuesta máxima en cada modo se eleva al cuadrado, los picos modales al cuadrado se suman, y la raíz cuadrada de esta suma proporciona una estimación de la respuesta máxima total. Esta regla de combinación proporciona excelentes estimaciones de la respuesta para estructuras con frecuencias naturales muy separadas. (Chopra, 2014)

$$R_{max} = \sqrt{\sum_{i=1}^n r_i^2} \quad (1)$$

Cuando la estructura tiene dos frecuencias propias consecutivas con una diferencia menor al 10% de la más baja, el método SRSS puede subestimar o sobreestimar en mucho la respuesta total. Por lo cual se propuso el método CQC. (Bozzo & Barbat, 2004)

- CQC (Combinación cuadrática completa)

Este procedimiento fue propuesto por Wilson, Der Kiureghian y Bayo en 1981, y tiene su base en la teoría de las vibraciones aleatorias. La fórmula tiene forma cuadrática completa e incluye los términos intermodales, de allí el nombre.

También es importante considerar que los términos intermodales pueden tomar valores positivos o negativos, lo cual hace que sean claves para el funcionamiento del método. (Wilson, Der Kiureghian, & Bayo, 1981)

$$R_{max} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_i \cdot \alpha_{ij} \cdot r_j} \quad (2)$$

Donde r_i y r_j son las máximas respuestas en los modos i y j , y α_{ij} es el coeficiente de correlación.

2.1.2 Métodos no lineales

2.1.2.1 Análisis estático no lineal (Pushover)

El análisis no lineal Pushover o por empujes incrementales es un análisis realizado bajo cargas gravitatorias constantes y cargas horizontales que se incrementan de forma monótona hasta que se supere el desplazamiento objetivo. Puede aplicarse para comprobar el comportamiento estructural de edificios nuevos o existentes. (Eurocódigo 8, 2011)

Se debe seleccionar un nodo de control, patrones de fuerza sísmica, determinar el período fundamental y aplicarlo en el método. La relación entre la fuerza de corte de la base y el desplazamiento lateral del nodo de control se establecerá para los desplazamientos del nodo de control que oscilen entre el 0% y el 150% del desplazamiento objetivo.

El modelo de análisis debe estar discretizado para representar la respuesta de fuerza-deformación de cada componente a lo largo de su longitud para identificar ubicaciones de acción inelástica. El comportamiento de fuerza-desplazamiento de todos los componentes se incluirá explícitamente en el modelo utilizando curvas completas que incluyan la degradación de la resistencia y la resistencia residual, en su caso. (ASCE 41, 2013)

A partir de la aplicación del Pushover se obtiene la curva de capacidad, que es la relación entre el esfuerzo cortante en la base de la estructura y el desplazamiento de control.

Posterior a esto se obtiene el punto de desempeño, el cual se puede encontrar según diferentes métodos definidos en varias normativas internacionales.

A continuación, se definirán los métodos de obtención del punto de desempeño según el Eurocódigo 8 y el FEMA 440.

La normativa (FEMA 440, 2005) evalúa y brinda sugerencias sobre 2 documentos en los cuales se basa: FEMA 356 y la ATC-40. Específicamente se refiere a los procedimientos llamados “Equivalent Linearization”.

El procedimiento nos dice que debemos partir de conocer el espectro de respuesta elástico y la curva de capacidad. Luego se define un valor de amortiguamiento, el cual es comúnmente 5%.

Se asume un punto de desempeño inicial y se desarrolla una curva bilineal que representa el espectro de capacidad según lo define el ATC-40. Esta bilineal considera una rigidez posterior a la plastificación. A partir de esta curva bilineal se obtienen los factores necesarios para el cálculo del amortiguamiento efectivo. Y finalmente se pueden utilizar los siguientes procedimientos para el cálculo del punto de desempeño.

- Iteración Directa: En este procedimiento, la iteración se realiza con el objetivo de converger directamente sobre un punto de desempeño. El espectro de demanda generado para los diferentes valores de amortiguamiento efectivo no se modifica para interceptar con el espectro de capacidad.
- Intersección con MADRS: El punto de desempeño se define como la intersección del espectro de capacidad con el MADRS, generado a partir de varios valores de amortiguamiento efectivo.
El MADRS llamado así por sus siglas en inglés es el espectro de respuesta de aceleración-desplazamiento modificado.
- Lugar Geométrico de posibles puntos de desempeño: Este enfoque utiliza el MADRS para posibles soluciones y sus correspondientes ductilidades para generar un lugar geométrico con los posibles puntos de desempeño. El punto de desempeño real se encuentra en la intersección de este lugar y el espectro de capacidad. Cabe mencionar que este procedimiento es propicio para un proceso automatizado donde la solución inicial que se asume tiene una ductilidad de 1 y posterior se debe probar con valores de forma creciente (2, 3, etc.)

La normativa del (Eurocódigo 8, 2011) Anexo B nos define el procedimiento de obtención del punto de desempeño.

El procedimiento nos dice que debemos partir de conocer el espectro de respuesta elástico y la curva de capacidad. Luego se define un valor de amortiguamiento, el cual es comúnmente 5%.

Se supone una relación entre las fuerzas y los desplazamientos normalizados se transforma en un sistema equivalente de un solo grado de libertad (SDOF).

Se realiza la determinación de la relación de Fuerza/Desplazamiento elasto-plástica perfecta, esto mediante una curva bilineal ideal, considerando una rigidez nula posterior a la plastificación. La rigidez inicial del sistema ideal se determina de tal modo que las áreas bajo las curvas fuerza/deformación real e ideal sean iguales.

Se determina el período del sistema idealizado equivalente de un grado de libertad y su desplazamiento objetivo.

En este proceso se puede realizar de manera iterativa con el objetivo de aproximar de mejor manera los resultados de comparación entre el sistema ideal y real. Finalmente se obtiene el desplazamiento objetivo para un sistema de varios grados de libertad mediante el paso del sistema SDOF por el coeficiente de transformación.

2.1.2.2 *Análisis dinámico no lineal (Time History)*

El análisis no lineal Time History se utiliza para obtener la respuesta de la estructura a lo largo del tiempo mediante integración numérica directa de las ecuaciones diferenciales del movimiento, utilizando acelerogramas que representan el movimiento del suelo. (Eurocódigo 8, 2011)

Los desplazamientos y fuerzas calculadas se compararán directamente con los criterios de aceptación. Los desplazamientos no se establecen utilizando un desplazamiento objetivo como en el análisis Pushover, sino que, en su lugar, se determinan directamente a través del análisis dinámico utilizando los historiales de aceleración del movimiento del terreno. El análisis dinámico realizado utilizando el método Time History calculará la respuesta del edificio en pasos de tiempo discretos. (ASCE 41, 2013)

2.2 Método de Diseño basado en Desplazamientos

El método de diseño sísmico directo basado en desplazamiento (DDBSD) propuesto por (Priestley, Calvi, & Kowalsky, 2007), requiere de un desplazamiento de diseño prefijado, una masa equivalente, una altura efectiva, una ductilidad y el desplazamiento del rendimiento de un sistema equivalente de un solo grado de libertad.

El objetivo de este método es que las estructuras deben ser diseñadas para alcanzar un nivel de desempeño específico, definido por los límites de deformación y bajo un nivel de amenaza sísmica.

El método de diseño se muestra en la figura 1, donde la figura 1.a. representa una edificación de varios grados de libertad como una estructura de un solo grado de libertad. En la figura 1.b. se muestra la curva bilineal de la respuesta lateral fuerza-desplazamiento del sistema de un grado de libertad, donde el primer tramo tiene una rigidez elástica K_i y está seguida por la rigidez post cedencia rK_i . El método caracteriza a la estructura con una rigidez secante K_e y con desplazamiento máximo Δ_d .

La figura 1.c. muestra un nivel de amortiguamiento viscoso equivalente ξ , que representa la combinación del amortiguamiento elástico y el debido a la energía histórica absorbida durante la respuesta inelástica.

En la figura 1.d. se muestra que, con el desplazamiento de diseño para la respuesta máxima determinada y el correspondiente amortiguamiento obtenido a partir de la demanda por ductilidad, se obtiene el período efectivo T_e , con el cual se procede a calcular la rigidez K_e del sistema de un grado de libertad. Finalmente se calcula el cortante basal en función de la curva bilineal mostrada en la figura 1.b.

Una visión completa del método se da en el libro “Displacement Based Seismic Design of Structures” de (Priestley et al., 2007).

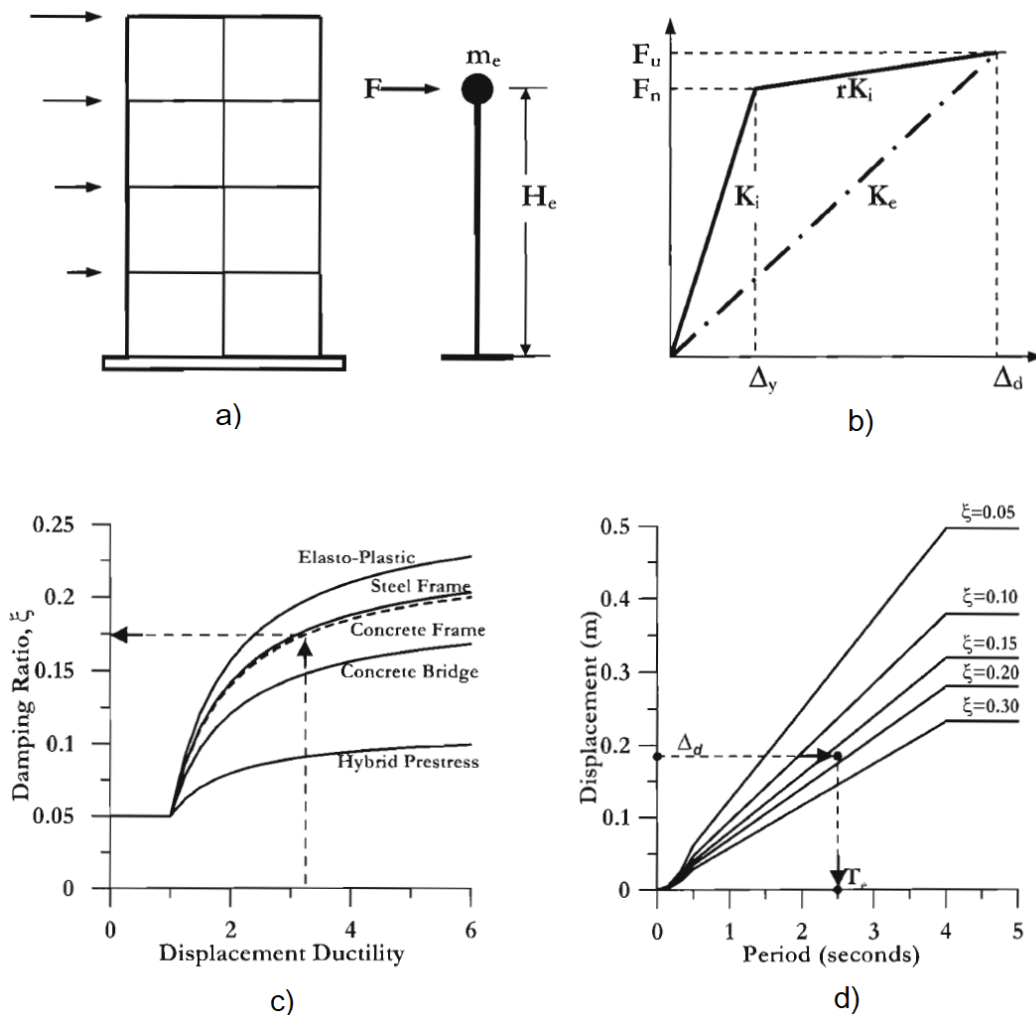


Figura 1: Fundamentos del método de diseño directo basado en desplazamientos (Priestley et al., 2007)

2.3 Método de Columna Ancha

El método de columna ancha consiste en reemplazar el muro en análisis por una estructura equivalente tipo pórtico. Ésta estructura está formada por una columna equivalente y vigas rígidas ubicadas a nivel de piso.

La columna se coloca en el eje centroidal del muro considerando las propiedades de inercia y área axial del mismo. Las vigas rígidas, que unen a la columna con las vigas del sistema, se ubican a nivel de piso y deben tener inercia y área axial infinita, por lo cual se les asignan valores de rigidez muy altos en comparación con los del sistema analizado. Se muestra la analogía del método en la figura 2.

Este método fue desarrollado por Clough, Candy y Macleod para análisis de muros de corte planos.

Posterior, Mcleod y Hosny desarrollaron mejoras al método, ampliando su alcance a muros de corte no planos. (Tolga, 2004)

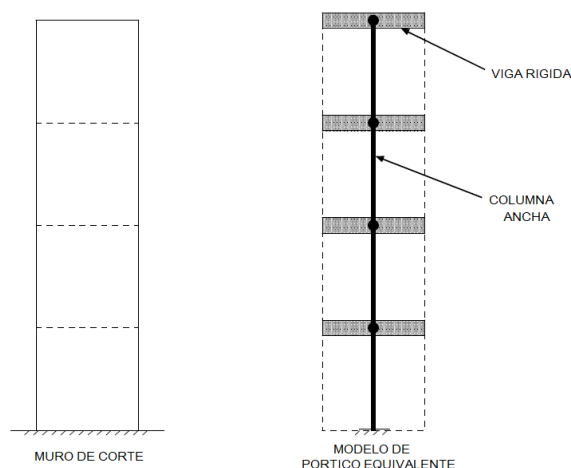


Figura 2: Modelo de pórtico equivalente de un muro de corte (Tolga, 2004)

2.4 Método del Doble Análisis Lineal (DLA)

El método de Doble Análisis Lineal fue desarrollado por (Montoya, 2016), el mismo que se basa en el método Static Non-Linear Design propuesto por (Bairán, Marí, & Duarte, 2011). Este método de análisis se genera pensando en que los métodos lineales son mucho más fáciles de aplicar que los no lineales y por lo cual no requieren de herramientas avanzadas de diseño.

El método DLA se define como la superposición de dos análisis lineales sobre una estructura elástica y una estructura auxiliar, con el objetivo de obtener resultados similares a un análisis no lineal. Este método nos permite elegir la demanda de ductilidad, la intensidad de daño y el comportamiento de la estructura ya sea de forma global o local. Todo esto se desarrolla a partir de un factor de control denominado α .

El primer análisis se aplica sobre la estructura original mediante un modelo elástico lineal. Este modelo está sometido a cargas gravitacionales y cargas sísmicas. A partir de este modelo se puede obtener fuerzas internas elásticas y sus deformaciones. El segundo análisis se aplica sobre una estructura auxiliar, la misma que es definida por el modelo original, pero incluyendo una serie de rótulas perfectas que se distribuyen según el criterio del diseñador. Los puntos donde se ubiquen las rótulas serán los puntos donde se permita el daño estructural en el diseño. (Montoya, 2016)

En la figura 3 se puede observar un ejemplo de un pórtico básico con los dos tipos de estructuras requeridos para el análisis DLA.



Figura 3: Tipo de estructuras en DLA: a. Estructura Elástica; b. Estructura Auxiliar (Montoya, 2016)

El método DLA realiza la superposición de los resultados finales de los esfuerzos internos y deformaciones obtenidas de los dos análisis lineales.

2.4.1 Metodología del Doble Análisis Lineal (DLA)

Los pasos generales que plantea (Montoya, 2016) para el desarrollo del método se describen a continuación:

- Realizar un análisis modal espectral lineal (análisis convencional) en la estructura elástica y obtener su respuesta elástica.
- Decidir la estrategia de ubicación y número de rótulas en la estructura auxiliar según la necesidad de reducción de fuerzas internas, reducción del cortante basal o evolución del daño local.
- Realizar un análisis modal espectral lineal en la estructura auxiliar.
- Graficar las curvas de evolución de esfuerzos internos en función del parámetro de intensidad del daño (α), con el objetivo de seleccionar el daño local, desplazamientos y derivas deseadas.
- Diseñar la estructura de acuerdo con el esquema de superposición y la combinación de fuerzas internas de ambas estructuras y obteniendo así el diseño de la estructura final. La demanda de rotación plástica controlará el diseño seccional. Para las secciones que permanecen elásticas se diseña de manera convencional, un diseño por capacidad.

Los anteriores pasos se pueden observar de manera gráfica en la figura 4.

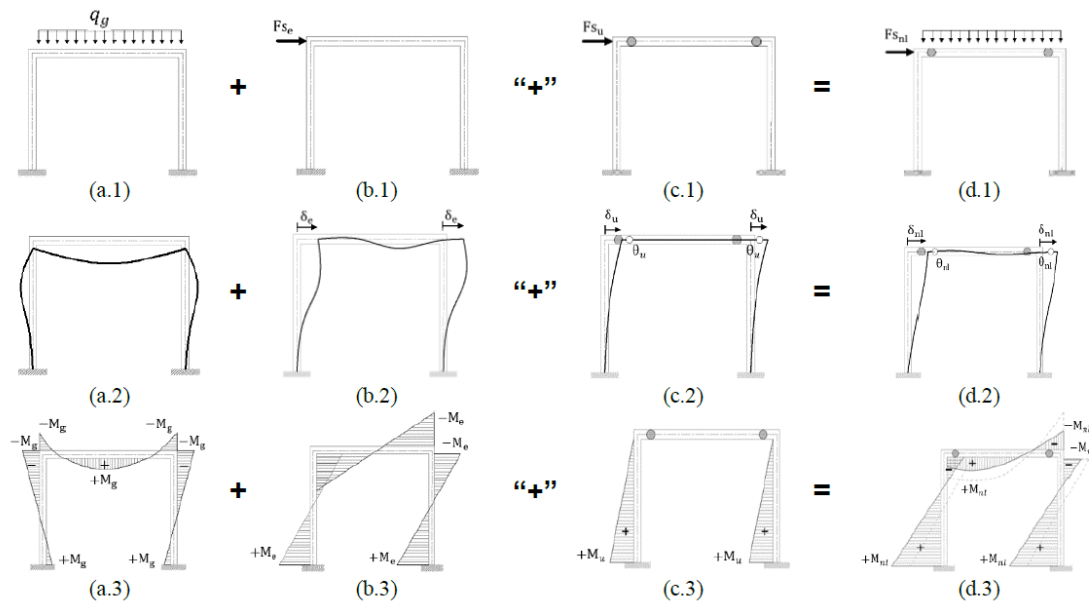


Figura 4: Estimación del estado final de los pasos de diseño para el método DLA. (Montoya, 2016)

Las columnas que corresponden a las figuras 4a y 4b muestran el análisis modal espectral lineal en la estructura elástica. La columna de figuras 4a.1, 4a.2 y 4a.3 describen la aplicación de las cargas gravitacionales. La columna de figuras 4b.1, 4b.2 y 4b.3 describen a la estructura cargada a partir de un espectro de diseño elástico sin ningún factor de reducción de fuerzas sísmicas. Esto definiría el primer paso del análisis DLA.

La columna que corresponde a las figuras 4c.1, 4c.2 y 4c.3 muestran el análisis modal espectral lineal en la estructura auxiliar, cargada de igual manera a partir del mismo espectro de diseño del primer paso.

En la columna de figuras 4d.1, 4d.2 y 4d.3 se muestra la estructura resultante, obtenida a partir de la superposición de los resultados de los dos análisis anteriores. Con esta estructura se puede llevar a cabo el diseño estructural.

Las filas de subíndice 2 y 3 de la figura 4, representan las deformaciones y gráficos de momento flector para su respectiva estructura.

La superposición entre las dos estructuras analizadas se representa en la figura 5.

El análisis lineal de la estructura elástica define la recta (p)-(a) con una rigidez K_e . El análisis lineal de la estructura auxiliar define la recta (p)-(b) con una rigidez K_u . Cabe mencionar que para obtener la estructura auxiliar el diseñador debe tomar la decisión sobre el número y ubicación de rótulas perfectas.

La curva (p)-(c)-(e) representa la respuesta combinada de los dos análisis anteriores según el parámetro de control de daño (α) seleccionado por el diseñador. Este factor de control de daño varía entre 0 y 1, donde una estructura totalmente dañada representa 1 y una estructura sin daño representa 0.

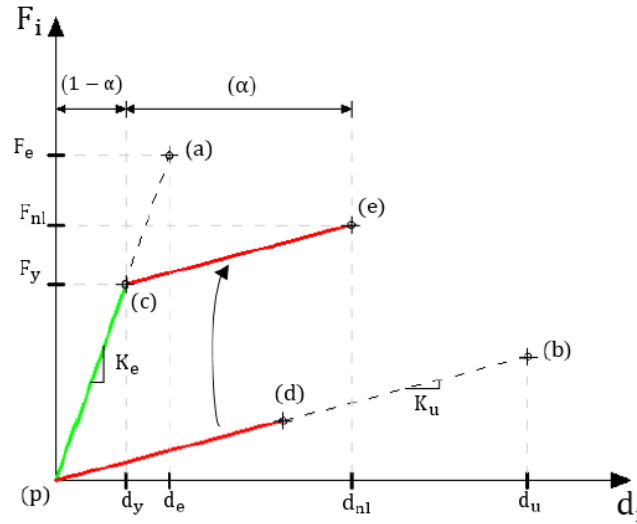


Figura 5: Superposición de la estructura elástica y auxiliar en un diagrama de fuerza-desplazamiento en términos del parámetro α . (Montoya, 2016)

2.4.2 Combinación de estructuras y control de daño

Después del análisis de las dos estructuras elásticas descritas en el apartado anterior, se puede realizar la superposición de la deformación y las fuerzas internas para obtener la respuesta no lineal. Para este objetivo, se aplica el factor de control de daño (α) para combinar las fuerzas y los desplazamientos.

Para esto, (Montoya, 2016) estableció la ecuación 3, que se puede aplicar a las fuerzas como a los desplazamientos.

$$X_{nl}^i = \eta[(1 - \alpha) * X_e^i + \alpha * X_a^i] \quad (3)$$

Donde:

X_{nl}^i es el resultado final de fuerza o desplazamiento en el nodo i , obtenido de la combinación de los dos modelos estructurales.

X_e^i es la fuerza o desplazamiento en el nodo i , obtenido en la estructura elástica.

X_a^i es la fuerza o desplazamiento en el nodo i , obtenido en la estructura auxiliar.

η es el factor de corrección de amortiguamiento, que tiene en cuenta la disipación de energía por amortiguamiento histérico en cada rótula.

A partir de la superposición de fuerzas y deformaciones, se estima la demanda final de la estructura inelástica. Por lo cual el diseño final de la estructura debe realizarse diseñando el refuerzo de acero para satisfacer las demandas de ductilidad y resistencia requeridas para los tamaños de sección transversal seleccionados.

Para este fin, la demanda de resistencia de momento flector y la demanda de ductilidad se obtienen usando las ecuaciones 4 y 5 en términos de momento y ductilidad respectivamente como se muestra a continuación:

$$M_{nl}^i = \eta[(1 - \alpha) * Me^i + \alpha * Ma^i] \quad (4)$$

$$\theta_{nl}^i = \eta[(1 - \alpha) * \theta e^i + \alpha * \theta a^i] \quad (5)$$

Donde:

θ_e^i es el giro elástico en el nodo i , obtenido según los elementos en análisis de la estructura elástica.

Para este giro elástico se aplica la ecuación desarrollada por (Priestley et al., 2007):

$$\theta_e^i = \phi_y * \frac{L}{S} \quad (6)$$

Donde:

S es un factor según el tipo de elemento (columna, viga, muro, etc.) Para viga S=6; para muro S=2

ϕ_y es la curvatura de rendimiento de la sección

L es la longitud del elemento

A continuación, según (Priestley et al., 2007), se presenta una tabla de curvaturas según el tipo de sección que analicemos.

Columna de concreto circular	$\phi_y = \frac{2.25 \varepsilon_y}{D}$
Columna de concreto rectangular	$\phi_y = \frac{2.10 \varepsilon_y}{hc}$
Muro de concreto rectangular	$\phi_y = \frac{2 \varepsilon_y}{l_w}$
Sección de acero simétrica	$\phi_y = \frac{2.10 \varepsilon_y}{h_s}$
Viga de concreto con alas	$\phi_y = \frac{1.70 \varepsilon_y}{h_b}$

Tabla 1: Curvaturas según el tipo de sección. (Priestley et al., 2007)

Donde: $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$

El factor de corrección de disipación de energía (η) se define en términos de la demanda de ductilidad en cada punto de daño local (rótula). Por lo tanto, también depende del tipo de lazo de histéresis del componente. (Montoya, 2016)

La máxima ductilidad en la rótula (i) se obtiene:

$$\mu_{max}^{(i)} = \frac{\theta_a^{(i)}}{\theta_e^{(i)}} \quad (7)$$

Mientras la demanda de ductilidad puede ser obtenida con la ecuación:

$$\mu^{(i)} = 1 + \left(\frac{\theta_a}{\theta_e} * \frac{\alpha}{1 - \alpha} \right) \quad (8)$$

El estudio de Dwairi, muestra que el componente de amortiguamiento histérico (i) se puede calcular como:

$$\xi_i = 0.05 + \frac{C_i}{\pi} * \frac{\frac{\theta_a}{\theta_e}}{\frac{1 - \alpha}{\alpha} + \frac{\theta_a}{\theta_e}} \quad (9)$$

Donde el coeficiente C_i depende de la forma del lazo histérico, por lo cual (Priestley et al., 2007) define una tabla según el sistema estructural.

Sistema Estructural	C_i
Edificios con muros de concreto; Puentes	0.444
Edificios con pórticos de concreto	0.565
Pórtico Híbrido Pretensado	0.186
Edificios con pórticos de acero (RO)	0.577
Dispositivo deslizante con fricción (EPP)	0.670
Sistema de Aislador Bilineal (BI $r=0.2$)	0.519

Tabla 2: Coeficiente C_i según el sistema estructural. (Priestley et al., 2007)

El amortiguamiento total del sistema es la suma del amortiguamiento elástico e histérico. La fórmula que plantea (Montoya, 2016) para el cálculo del amortiguamiento del sistema es:

$$\xi_{sys} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_{e(i)} * \theta_{a(i)} * \xi_{(i)}}{M_{e(i)} * \theta_{a(i)}} \right) \quad (10)$$

Para el cálculo del factor de corrección de amortiguamiento se utiliza una amortiguación viscosa equivalente para representar la ductilidad y capacidad de disipación de energía. Se utiliza la ecuación incluida en el (Eurocódigo 8, 2011):

$$\eta = \sqrt{\frac{0.10}{0.05 + \xi_{sys}}} \quad (11)$$

El paso final es diseñar los elementos y rótulas plásticas para la resistencia y demanda de ductilidad calculada.

CAPÍTULO 3

3. DEFINICIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

Se analizará 3 tipos de estructuras de edificaciones:

Una estructura de altura media con planta regular, una estructura de altura media con planta irregular y una estructura de gran altura con planta regular.

3.1 Material

Se ha seleccionado el hormigón como material base para el análisis y diseño de las estructuras que serán modeladas en el presente trabajo. Esto, por ser un material común en todo tipo de construcciones, por su alta resistencia a compresión, buena resistencia al fuego y que puede adoptar una variedad de formas por su estado líquido inicial.

La gran desventaja que presenta este material es la mínima resistencia a esfuerzos de tracción, por lo cual se utiliza acero de refuerzo para contrarrestar dicho problema.

3.2 Elevación

Se consideró que las estructuras sean regulares en altura. Se tendrá para las edificaciones de altura media un total de 20 plantas y para la de gran altura un total de 40 plantas.

Se considera una altura de entre piso de 3 metros, con excepción de la planta baja que tendrá 4 metros.

3.3 Sistema estructural

La selección del sistema estructural depende de varios factores como la ubicación geográfica, altura de la edificación, dimensiones de la planta, el uso previsto, requisitos arquitectónicos, etc.

Para el caso de edificios de hormigón armado, Fazlur Khan sugiere la clasificación que se muestra en la figura 6, para seleccionar el sistema estructural adecuado según la altura de la edificación.

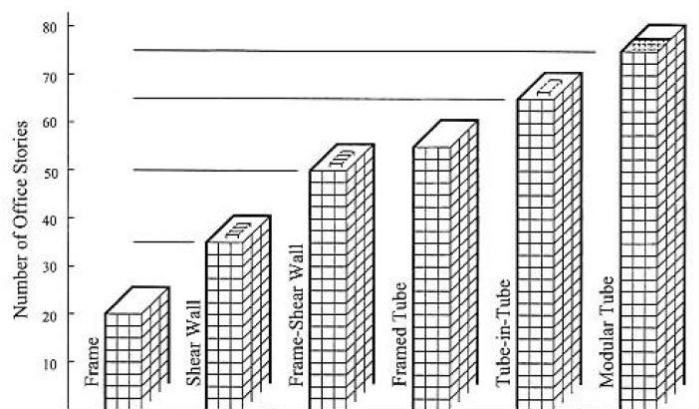


Figura 6: Sistema Estructural según altura. (Ali & Moon, 2007)

Según el número de pisos definidos en la sección de elevación del presente capítulo (20-40 pisos), el cuadro de Khan nos recomienda un sistema estructural de pórticos con muros de corte. Este sistema tiene un comportamiento dúctil lo que genera una buena capacidad de disipación de energía. Los muros de corte son los elementos que resistirán las solicitaciones sísmicas, mientras los pórticos resistirán las solicitaciones gravitacionales de la edificación.

3.4 Planta

Para la distribución en planta, se analizó varias edificaciones existentes con el mismo sistema estructural, llegando a obtener 4 plantas tipo. De las cuales 3 tendrán muros aislados y una de las opciones muros acoplados.

3.5 Normativa

La normativa base seleccionada para el análisis y diseño de las diferentes estructuras será la serie de Euro-códigos disponibles.

En el caso de que se requiera y aplique códigos adicionales, éstos se indicarán de manera clara en la sección que corresponda.

3.6 Casos de Estudio

Considerando los aspectos de material, elevación, sistema estructural y distribución en planta, hemos definido 4 casos de estudio.

Las distribuciones en planta y elevaciones de cada caso se muestran en las figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13.

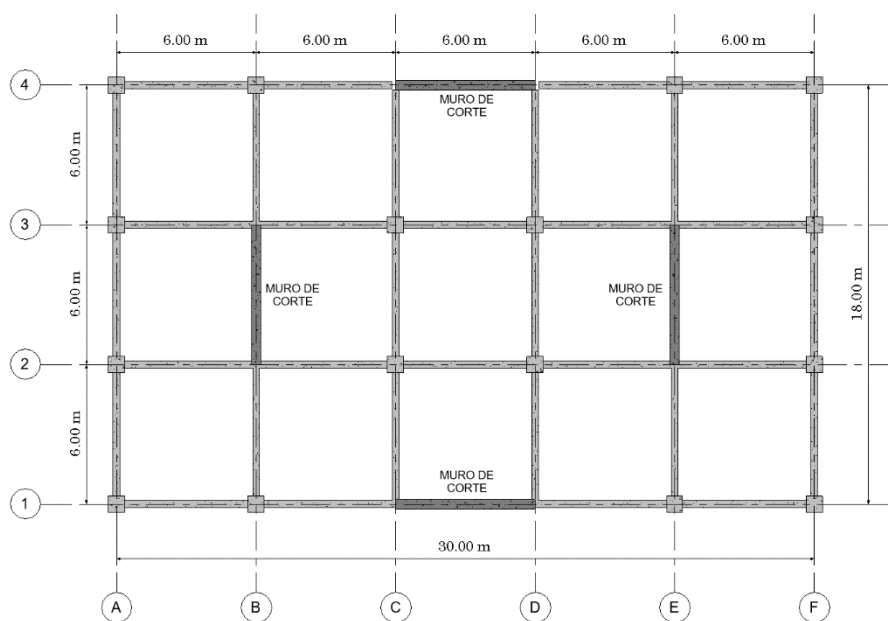


Figura 7: Distribución en planta Edificio Tipo 1 y 3

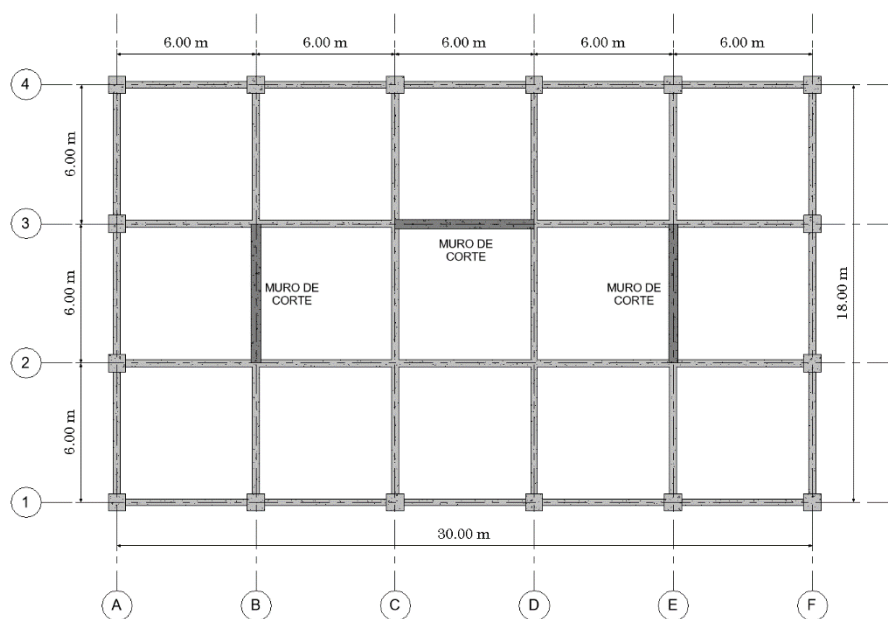


Figura 8: Distribución en planta Edificio Tipo 2

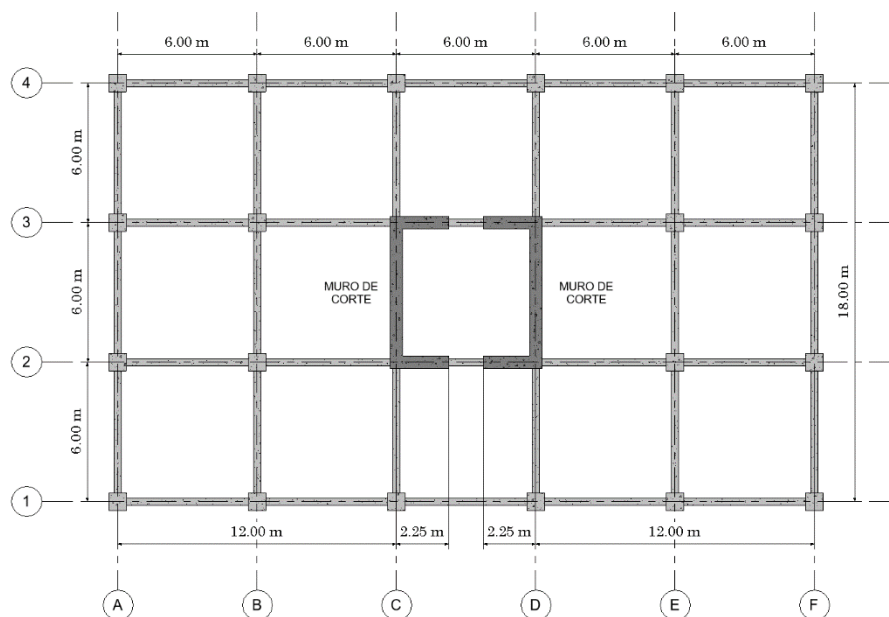


Figura 9: Distribución en planta Edificio Tipo A1

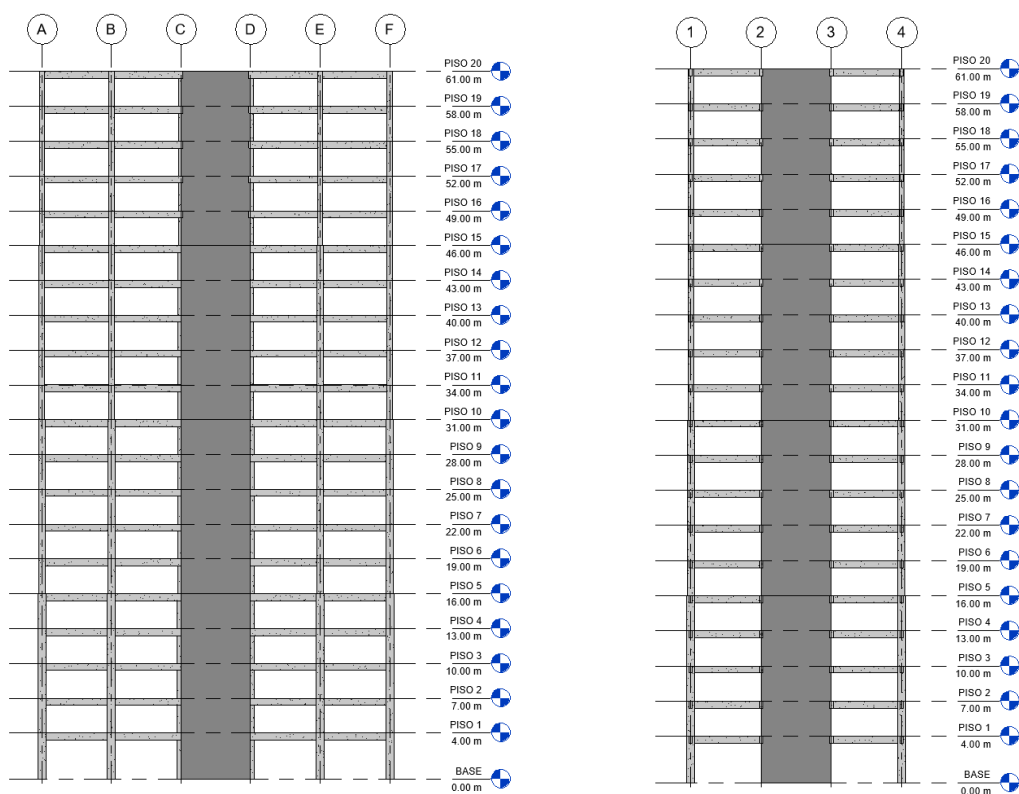


Figura 10: Elevaciones Eje 1 y Eje B Edificio Tipo 1

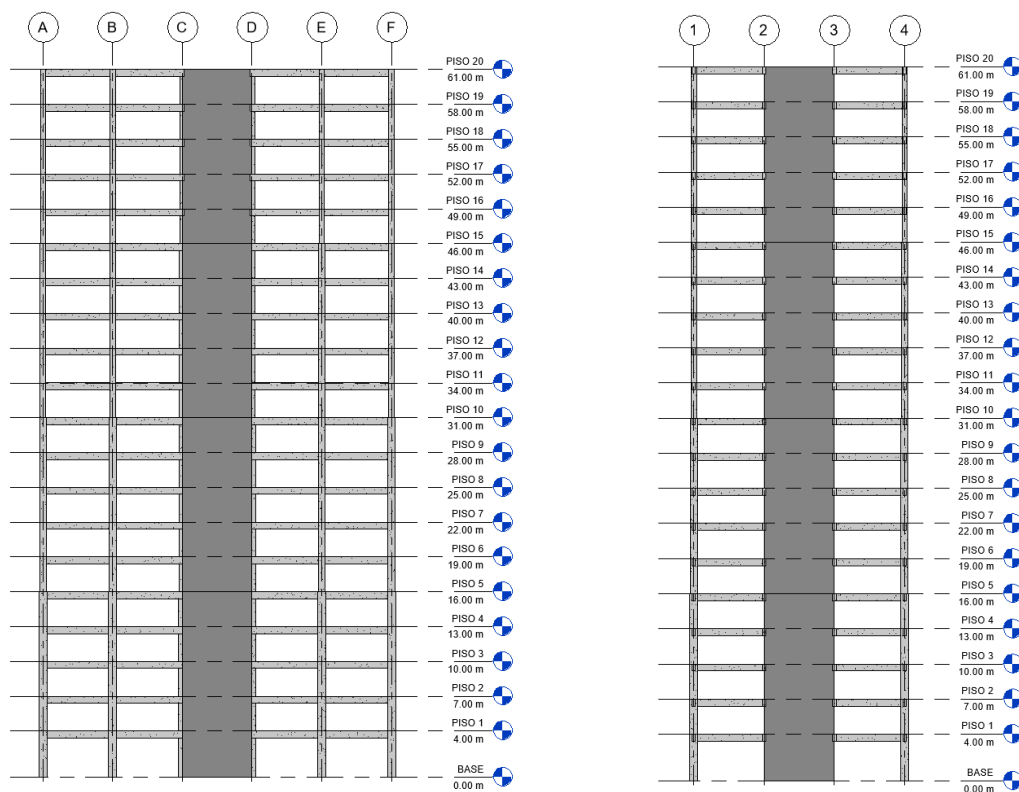


Figura 11: Elevaciones Eje 3 y Eje B Edificio Tipo 2

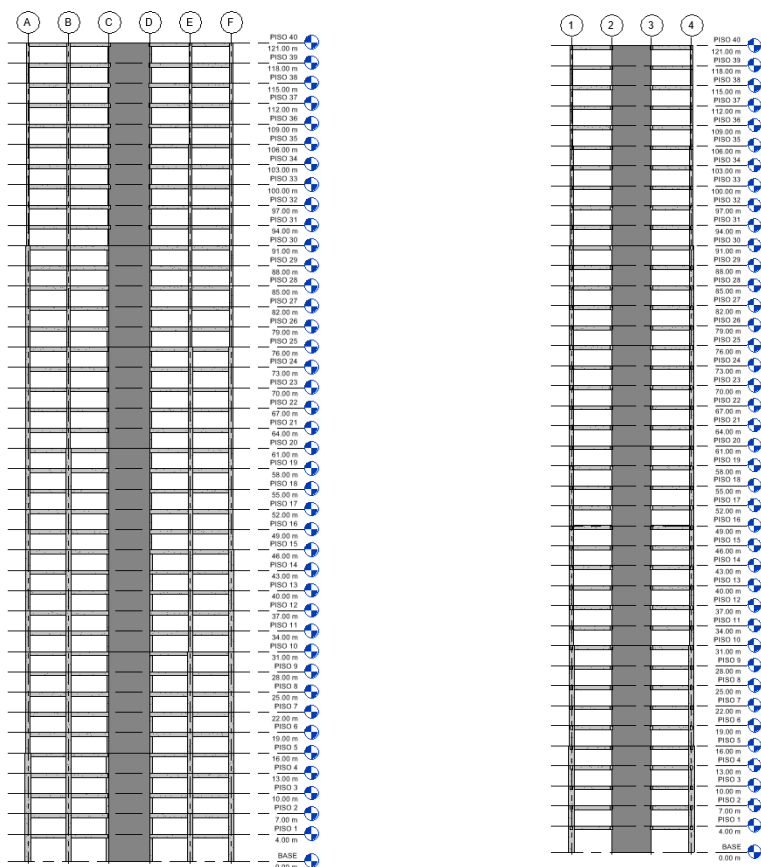


Figura 12: Elevaciones Eje 1 y Eje B Edificio Tipo 3

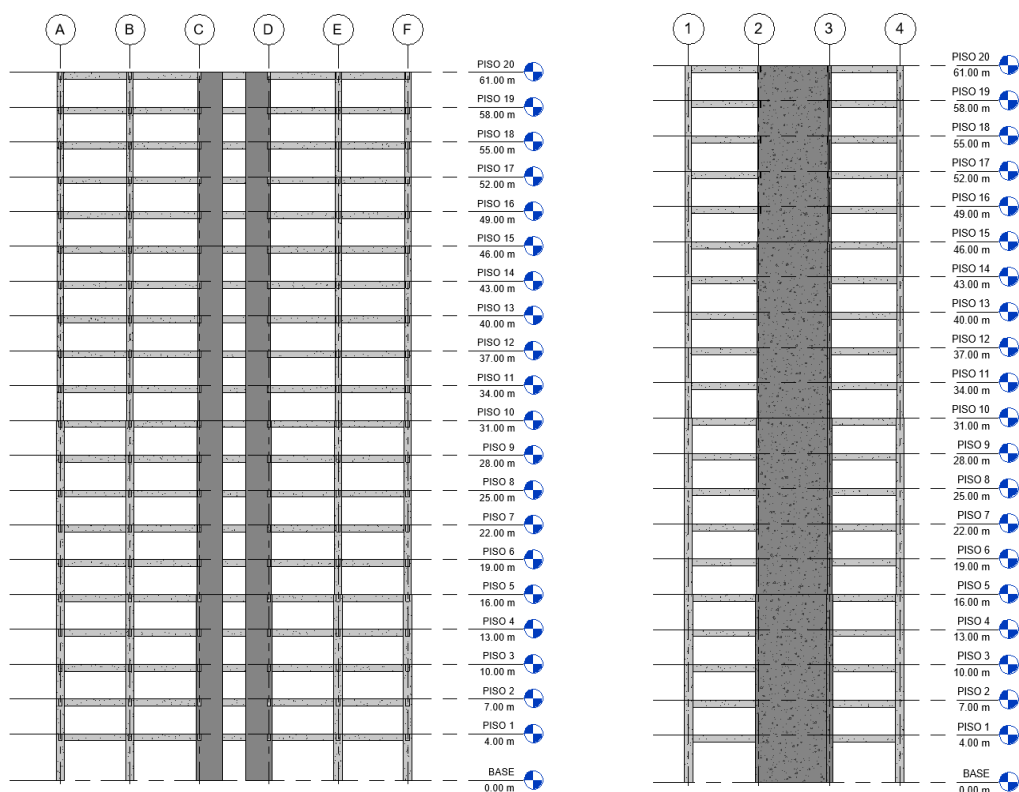


Figura 13: Elevaciones Eje 2 y Eje C Edificio Tipo A1

CAPÍTULO 4

4. MODELIZACIÓN DE ESTRUCTURAS

Para modelar las edificaciones propuestas aplicando los diferentes métodos, se utiliza el software comercial ETABS (2016).

A continuación, se muestra la definición de cargas, combinaciones, materiales, secciones de elementos de cada una de las edificaciones modeladas mediante el método de elementos finitos.

Adicional, se aplica el método de columna ancha (MCA) en los mismos modelos con el objetivo de realizar una comparativa entre los dos métodos. Se considera que el método de elementos finitos (MEF) es el más preciso.

4.1 Cargas

4.1.1 Gravitacionales

Las cargas gravitacionales consideradas para el análisis de las edificaciones son: Carga muerta, una sobrecarga muerta y una carga viva.

4.1.1.1 Carga Muerta (CM):

La carga muerta será directamente el peso propio de los elementos estructurales, el mismo que es considerado de manera automática por el software de análisis estructural.

4.1.1.2 Sobrecarga muerta (SM):

El valor de sobrecarga muerta corresponde a los pesos permanentes que se tendrá en la estructura tal como paredes, pisos, recubrimientos, elementos no estructurales fijos, elementos arquitectónicos, etc.

La tabla 3 muestra los pesos muertos considerados para los diferentes elementos no estructurales, considerando que todas las edificaciones tienen un área de planta común de 540m².

Tabla 3: Sobre Carga Muerta para diferentes elementos estructurales

Sobre Carga Muerta						
Ubicación	Material	Descripción	Peso Material (KN/m ²)	Altura (m)	Longitud de pared (m)	Peso Total (KN/m ²)
Planta Común	Bloque paredes exteriores	Bloque hueco de hormigón alivianado, espesor 150mm	1.28	3.00	50	0.47
	Enlucido	Enlucido de cemento compuesto y arena 1:3 a 1:5, espesor 20mm	0.40	3.00	50	
	Bloque paredes interiores	Bloque hueco de hormigón alivianado, espesor 150mm	1.28	3.00	45	0.52
	Enlucido	Enlucido de cemento compuesto y arena 1:3 a 1:5, espesor 20mm	0.40	3.00	45	
	Piso de porcelana y mortero	Baldosa de cerámica con mortero de cemento, de 3cm de espesor	0.60	-	-	0.60
	Cielorraso	Cielorraso de yeso sobre listones de madera	0.20	-	-	0.20
	Instalaciones	Mecánicas - Sanitarias	0.20	-	-	0.20
Cubierta	Bloque paredes exteriores	Bloque hueco de hormigón alivianado, espesor 150mm	1.28	1.50	50	0.23
	Enlucido	Enlucido de cemento compuesto y arena 1:3 a 1:5, espesor 20mm	0.4	1.50	50	
	Bloque paredes interiores	Bloque hueco de hormigón alivianado, espesor 150mm	1.28	1.50	45	0.26
	Enlucido	Enlucido de cemento compuesto y arena 1:3 a 1:5, espesor 20mm	0.40	1.50	45	
	Impermeabilizante		0.07	-	-	0.07
	Cielorraso	Cielorraso de yeso sobre listones	0.20	-	-	0.20
	Instalaciones	Mecánicas - Sanitarias	0.20	-	-	0.20
	Pendiente	Capa de mortero de cemento compuesto y arena con pendiente del 3%, espesor 30mm	0.60	-	-	0.60

Tabla 4: Sobre Carga Muerta Total

Sobre Carga Muerta Total	
Descripción	Peso Total (KN/m ²)
Planta	1.99
Cubierta	1.56

Por lo cual, a partir de los resultados totales de sobre carga muerta mostrados en la tabla 4, se considera que para el modelado tomaremos una sobrecarga en planta común de 2 KN/m² y para el nivel de cubierta de 1.6 KN/m².

4.1.1.3 Carga Viva (CV):

Son cargas producidas por el uso u ocupación de elementos no permanentes sobre la estructura, sin considerar las cargas naturales como viento, nieve, lluvia o sismo.

Según tabla 6.1 y tabla 6.2 del (Eurocódigo 1, 2003), para una ocupación residencial, la edificación se considera categoría A, y le corresponde un valor de carga viva entre 1.5 y 2 KN/m². Nosotros tomamos el valor de 2 KN/m². En el caso de la cubierta, que no tendrá acceso a particulares, se puede tomar un valor de 0.7 KN/m².

Estos valores se ven definidos en la tabla 5.

Tabla 5: Carga Viva para edificios residenciales

Carga Viva (Edificios residenciales)	
Descripción	Peso Total (KN/m ²)
Planta	2.00
Cubierta	0.70

4.1.2 Sísmicas (E)

Para el cálculo de la carga sísmica utilizaremos un espectro de respuesta según (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

Se considera una zona en la costa ecuatoriana con un factor de $Z=0.5$, que representa un peligro sísmico muy alto. A esta zona, también le corresponde un valor de $\eta=1.8$.

Se define un suelo tipo D, que representa un perfil de suelo rígido, al cual le corresponde un factor $r=1$.

Para la zona y tipo de suelo seleccionados, obtenemos los siguientes coeficientes:

F_a : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto

F_d : Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de desplazamientos para diseño en roca

F_s : Coeficiente de comportamiento no lineal de los suelos

F_a	1.12
F_d	1.11
F_s	1.4

Para obtener el espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones, se utiliza el procedimiento según (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015), el cual se encuentra simplificado en la figura 14.

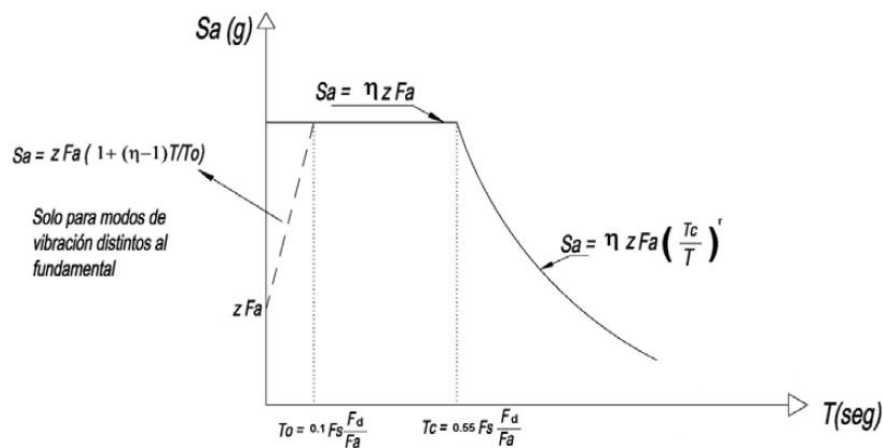
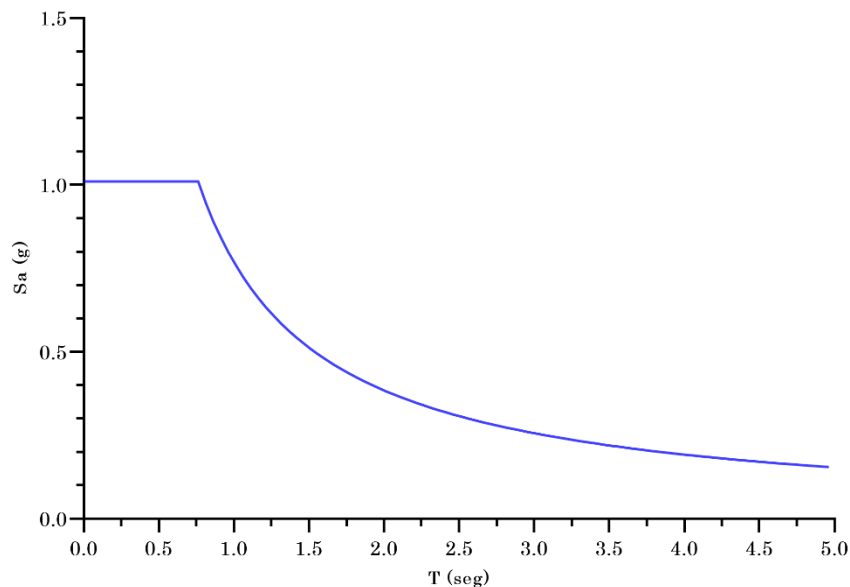


Figura 14: Definición del espectro de respuesta elástico. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

Obteniendo resultados de las formulaciones mostradas, se obtuvo el espectro de respuesta elástico de diseño que se muestra en la gráfica 1.



Gráfica 1: Espectro de respuesta sísmico elástico de diseño

La aplicación del espectro de respuesta será en ambas direcciones (X y Y), con un 30% adicional del sismo en dirección perpendicular.

$$E_x = S_x + 0.3 * S_y$$

$$E_y = S_y + 0.3 * S_x$$

La masa del edificio se define como el 100% de masa muerta y un 25% de masa por cargas vivas o variables.

Se considera un 5% de excentricidad accidental para la aplicación de la carga sísmica.

Para el análisis sísmico no se considera los efectos P delta o efectos de segundo orden en las estructuras modeladas.

4.2 Combinaciones de Carga

Los elementos estructurales de las diferentes edificaciones deben ser diseñados para que por lo menos resistan la demanda calculada por medio de fuerzas mayoradas. Esta mayoración se realiza en base a factores que representan el grado de precisión con el cual se espera que la fuerza actúe en la estructura durante su vida útil.

Para el análisis estructural se utilizan los coeficientes y combinaciones definidas en el (Eurocódigo 1990, 2003), según las cargas definidas en la sección 4.1 y considerando que las estructuras son categoría A.

Acción	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Categoría A: Zonas residenciales	0.7	0.5	0.3

4.2.1 Para estados límites últimos:

4.2.1.1 Situación Permanente:

γ_G	γ_Q
1.35	1.5

$$\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_1 + \gamma_Q * Q_2 * \Psi_0$$

$$1.35 * (CM + SM) + 1.5 * CV$$

4.2.1.2 Situación Sísmica:

γ_G	γ_Q	γ_E
1.0	1.0	1.0

$$\gamma_G * G + \gamma_E * Q_E + \gamma_Q * Q_1 * \Psi_2 + \gamma_Q * Q_2 * \Psi_2$$

$$1.0 * (CM + SM) + 1.0 * E + 0.3 * CV$$

4.2.2 Para estados límites de servicio:

4.2.2.1 Situación Poco Probable:

γ_G	γ_Q
1.0	1.0

$$\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_1 + \gamma_Q * Q_2 * \Psi_0$$

$$1.0 * (CM + SM) + 1.0 * CV$$

4.2.2.2 Situación Casi Permanente:

γ_G	γ_Q
1.0	1.0

$$\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_1 * \Psi_2$$

$$1.0 * (CM + SM) + 0.3 * CV$$

Por lo cual se analiza para las combinaciones:

- 1) $1.35 * (CM + SM) + 1.5 * CV$
- 2) $1.0 * (CM + SM) + 1.0 * E + 0.3 * CV$
- 3) $1.0 * (CM + SM) + 1.0 * CV$
- 4) $1.0 * (CM + SM) + 0.3 * CV$

4.3 Variables del comportamiento global

4.3.1 Períodos

Los períodos fundamentales, considerados para el cálculo de las fuerzas sísmicas, serán los obtenidos a partir del software de cálculo estructural ETABS (2016).

4.3.2 Participación de masas

“La suma de las masas modales eficaces para los modos considerados representa, al menos, el 90% de la masa total de la estructura” (Eurocódigo 8, 2011)

4.3.3 Derivas de piso

Las derivas de piso o desplome entre plantas se calculan en base a los máximos desplazamientos de los nodos extremos de cada piso considerando la carga sísmica en ambas direcciones.

Existen 3 criterios de limitación de daño por derivas de piso que plantea el (Eurocódigo 8, 2011):

Tabla 6: Límites de daño por Derivas de piso

Para edificios que tengan elementos no estructurales de materiales frágiles unidos a la estructura	$d_r v = 0.005h$
Para edificios que tengan elementos no estructurales dúctiles	$d_r v = 0.0075h$
Para edificios que tengan elementos no estructurales unidos de forma que no interfieran con las deformaciones estructurales o que carezcan de elementos no estructurales	$d_r v = 0.01h$

Para la verificación de esta variable se considera la limitación para edificios que tengan elementos no estructurales dúctiles.

4.4 Edificio Tipo 1

4.4.1 Materiales

4.4.1.1 Hormigón

Se considera un hormigón para vigas, columnas y muros con las siguientes características:

Tabla 7: Características Hormigón 40 Mpa

Peso Específico	25	KN/m ³
Módulo de elasticidad	36296984	KN/m ²
Coefficiente de Poisson	0.2	
Resistencia a compresión (fck)	40	N/mm ²

4.4.1.2 Acero de Refuerzo

Se considera un acero de refuerzo B500SD con las siguientes características:

Tabla 8: Características Acero de Refuerzo

Peso Específico	76.98	KN/m ³
Módulo de elasticidad	200000000	KN/m ²
Coefficiente de Poisson	0.3	
Límite de fluencia (Fy)	500000	KN/m ²

4.4.2 Elementos

Los elementos estructurales que se consideran para el modelamiento de las edificaciones son: Vigas, Columnas, Muros de corte y Losas.

“En edificios de hormigón las rigideces de los elementos resistentes deberían evaluarse, en general, teniendo en cuenta el efecto de la fisuración.” (Eurocódigo 8, 2011)

Por lo cual tomaremos los valores recomendados por la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015) para modificar las rigideces de los elementos según factores de minoración.

$$0.5I_g \text{ (Para vigas)}$$

$$0.8I_g \text{ (Para columnas)}$$

$$0.6I_g \text{ (Para muros estructurales)}$$

4.4.2.1 Vigas

Para el modelado de vigas se utiliza elementos tipo Beam. Las secciones serán rectangulares, cumpliendo con los requisitos geométricos mínimos del Euro-código 2.

4.4.2.2 Columnas

Para el modelado de columnas se utiliza elementos tipo Column. Las secciones serán cuadradas y cumplen los requisitos geométricos mínimos del Euro-código 2.

4.4.2.3 Muros de corte

Los muros de las edificaciones según el método de elementos finitos (MEF), se modelan mediante elementos tipo Shell con malla de componentes de tamaño 50cm.

Los muros de las edificaciones según el método de columna ancha (MCA), se modelan mediante elementos tipo Frame para definir las columnas y vigas de los pórticos equivalentes. Las columnas tendrán las secciones correspondientes a los muros (cumpliendo en inercia y área axial), y las vigas rígidas tendrán un tamaño similar a las vigas principales del sistema, pero con sus propiedades de inercia y área axial aumentadas en 100000.

4.4.2.4 Losas

Para el modelado de las losas se utiliza elementos tipo Slab membrana, con la opción Waffle, que representa una losa aligerada en dos direcciones. La geometría de la losa se presenta en la figura 15.

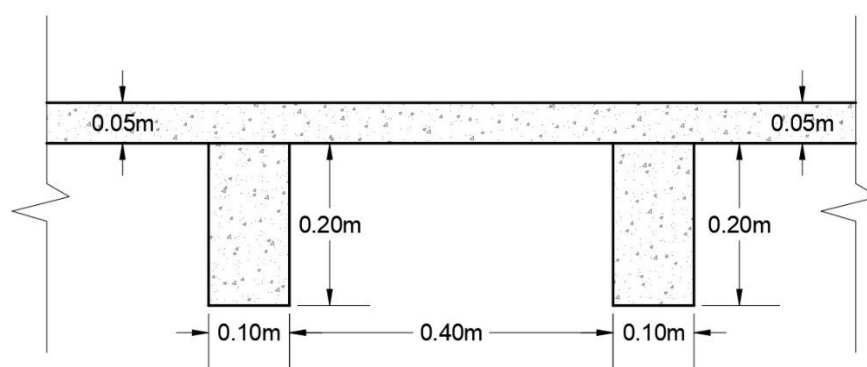


Figura 15: Geometría de la sección de Losa Aligerada

4.4.3 Secciones

Se realiza un predimensionamiento de los elementos estructurales de la edificación según los diferentes métodos existentes.

- Para las vigas se utiliza la relación $h=L/12$.
- Para las columnas se utiliza la fórmula:

$$A_{columna} = \frac{P}{n * f_{ck}}$$

Donde P es la carga total gravitacional que llega a la columna en función de un factor C que depende de la ubicación de la columna en planta. $P=P_{carga}*C$

Este predimensionamiento debe cumplir con los requerimientos geométricos seccionales y satisfacer un análisis modal y un análisis sísmico espectral, donde se verificará los modos de vibración, participación de masa modal y derivas de piso.

Para el análisis sísmico espectral se utilizó un coeficiente de comportamiento de $q=4.5$.

Las secciones que cumplen con los requerimientos antes descritos para la edificación tipo 1 se muestran en la tabla 9.

Tabla 9: Secciones Edificio Tipo 1

Edificio Tipo 1			
Pisos	Vigas Principales (cm)	Columnas (cm)	Muros (cm)
16-20	Vigas 30x60	Columnas 45x45	Muros 600x25
11-15	Vigas 30x60	Columnas 50x50	Muros 600x30
6-10	Vigas 30x60	Columnas 60x60	Muros 600x35
1-5	Vigas 30x60	Columnas 70x70	Muros 600x40

4.4.4 Modelo método elementos finitos (MEF) y modelo método de columna ancha (MCA)

4.4.4.1 *Modelo método de elementos finitos*

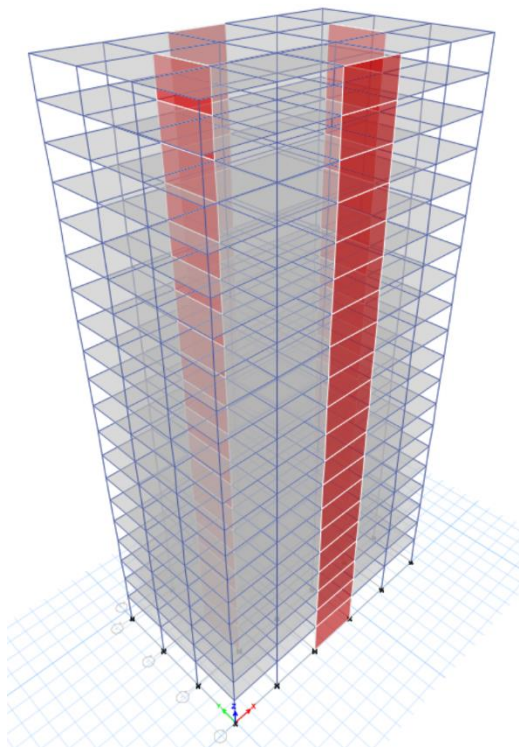


Figura 16: Modelo 3D del Edificio Tipo 1 con método de elementos finitos

La tabla 10 muestra los parámetros de comportamiento global de la estructura según el método de elementos finitos (Períodos y participación de masa).

Períodos		Participación de Masa			
Nº Modo	MEF (seg)	Nº Modo	MEF		
			UX (%)	UY (%)	RZ (%)
1	2.039	1	66.76%	0.00%	0.00%
2	2.017	2	0.00%	67.01%	0.00%
3	1.675	3	0.00%	0.00%	67.30%
4	0.541	4	16.04%	0.00%	0.00%
5	0.534	5	0.00%	15.90%	0.00%
6	0.453	6	0.00%	0.00%	15.62%
7	0.236	7	6.83%	0.00%	0.00%
8	0.234	8	0.00%	6.76%	0.00%

Tabla 10: Períodos y participación de masa Edificio Tipo 1 según método de elementos finitos

La tabla 11 muestran los valores de esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

Cortante (KN) MEF			Momento Flector (KN.m) MEF		
Piso	Sentido X	Sentido Y	Piso	Sentido X	Sentido Y
20	527.194	520.783	20	2241.578	2380.291
19	493.397	492.862	19	3604.430	3764.763
18	679.560	691.112	18	4808.254	4930.739
17	830.713	851.463	17	5951.424	5988.662
16	979.300	1012.938	16	7023.717	6920.290
15	873.601	934.733	15	8154.934	7945.243
14	1005.489	1078.212	14	9082.245	8764.240
13	1080.153	1156.144	13	9944.413	9591.974
12	1154.443	1231.506	12	10742.458	10397.374
11	1341.951	1426.841	11	11631.330	11317.158
10	1172.484	1265.559	10	12183.088	11936.915
9	1434.198	1533.220	9	13129.484	12992.020
8	1593.023	1689.517	8	14542.885	14531.399
7	1776.834	1871.930	7	16719.141	16840.544
6	2024.796	2123.972	6	19962.272	20228.097
5	2048.305	2152.663	5	23625.973	24067.378
4	2365.372	2473.288	4	28630.620	29267.279
3	2583.460	2687.710	3	34686.308	35518.968
2	2852.566	2942.144	2	41960.935	42962.710
1	2996.272	3086.836	1	53007.704	54305.737

Tabla 11: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 1 según método de elementos finitos

En las figuras 17 y 18 se muestran los esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

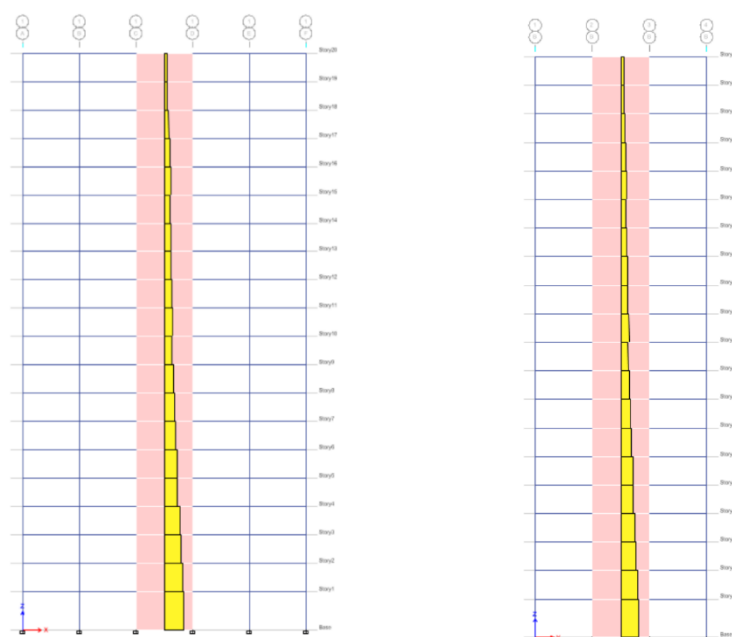


Figura 17: Cortantes en los muros Edificio Tipo 1 según método de elementos finitos

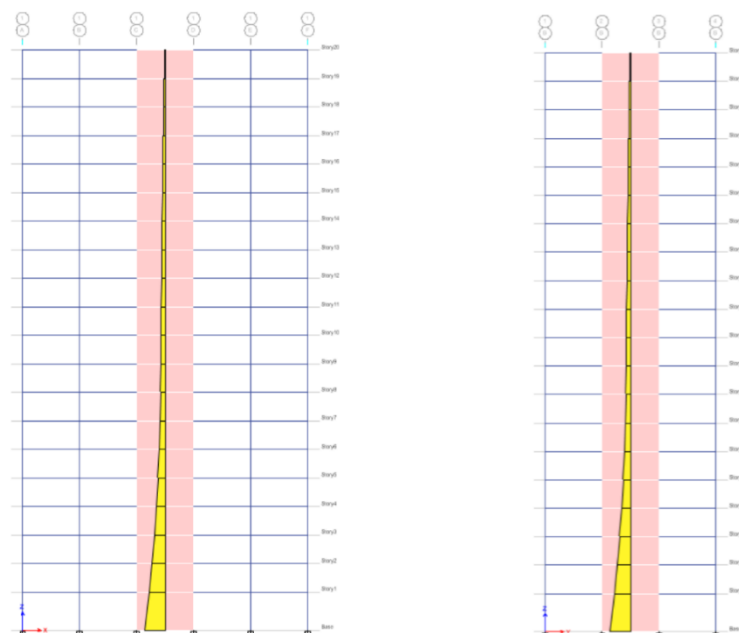


Figura 18: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 1 según método de elementos finitos

4.4.4.2 Modelo método de columna ancha

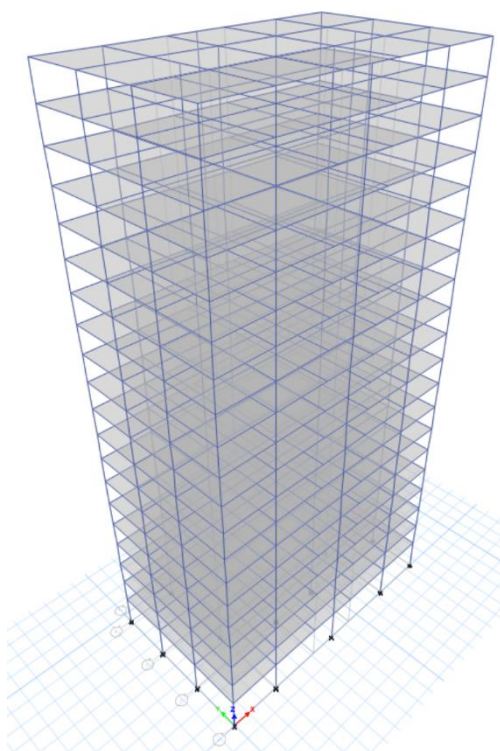


Figura 19: Modelo 3D del Edificio Tipo 1 con método de columna ancha

La tabla 12 muestra los parámetros de comportamiento global de la estructura según el método de columna ancha (Períodos y participación de masa).

Períodos		Participación de Masa			
Nº Modo	MCA (seg)	Nº Modo	MCA		
			UX (%)	UY (%)	RZ (%)
1	2.190	1	69.49%	0.00%	0.00%
2	2.132	2	0.00%	69.65%	0.00%
3	1.739	3	0.00%	0.00%	70.00%
4	0.567	4	15.09%	0.00%	0.00%
5	0.557	5	0.00%	15.04%	0.00%
6	0.468	6	0.00%	0.00%	14.62%
7	0.244	7	6.23%	0.00%	0.00%
8	0.242	8	0.00%	6.16%	0.00%

Tabla 12: Períodos y participación de masa Edificio Tipo 1 según método de columna ancha

La tabla 13 muestran los valores de esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

Cortante (KN) MCA			Momento Flector (KN.m) MCA		
Piso	Sentido X	Sentido Y	Piso	Sentido X	Sentido Y
20	517.668	491.571	20	2481.823	2508.314
19	466.999	459.183	19	3871.393	3873.250
18	646.573	653.573	18	5067.629	4997.641
17	791.434	811.094	17	6152.401	5985.493
16	935.651	967.208	16	7089.274	6809.722
15	903.020	939.487	15	8110.093	7737.704
14	1022.136	1067.653	14	8932.712	8468.246
13	1083.349	1135.186	13	9610.949	9066.347
12	1137.407	1193.215	12	10239.974	9672.467
11	1301.822	1364.355	11	10871.579	10344.953
10	1153.786	1209.881	10	11236.731	10747.204
9	1381.869	1442.201	9	11802.057	11368.914
8	1510.420	1570.044	8	12651.549	12275.798
7	1661.803	1720.504	7	14081.751	13752.696
6	1887.910	1950.746	6	16459.099	16171.979
5	1900.450	1954.221	5	19268.991	18994.993
4	2192.287	2251.628	4	23376.205	23123.025
3	2287.939	2349.759	3	28160.042	27940.774
2	2494.815	2561.365	2	34001.351	33842.608
1	2757.130	2839.801	1	43909.635	43999.196

Tabla 13: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 1 según método columna ancha

En las figuras 20 y 21 se muestran los esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

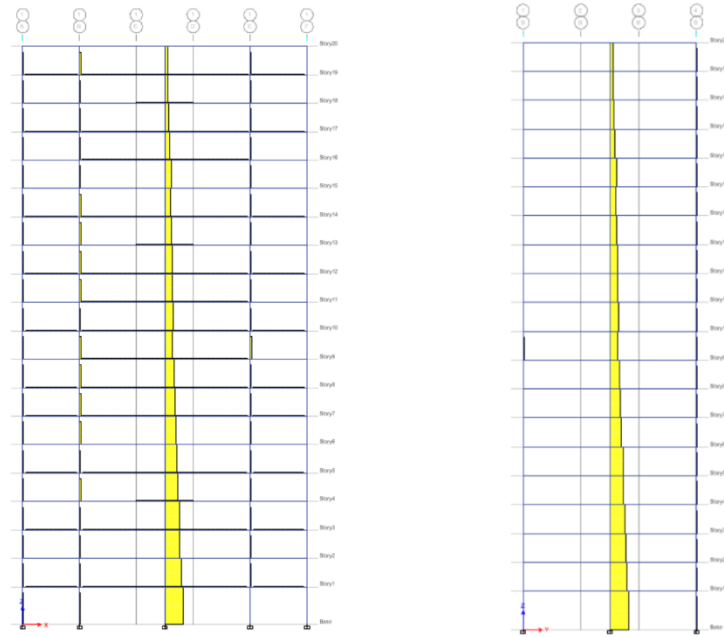


Figura 20: Cortantes en los muros Edificio Tipo 1 según método de columna ancha

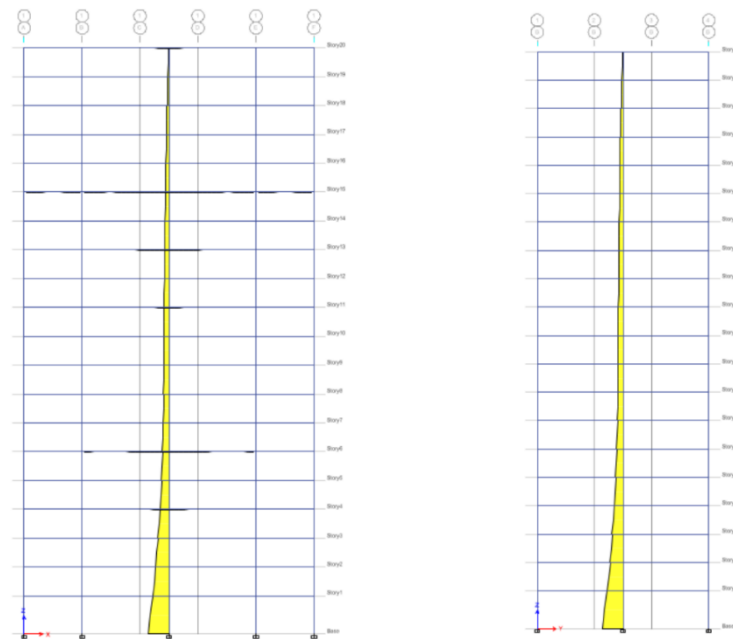


Figura 21: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 1 según método de columna ancha

4.5 Edificio Tipo 2

4.5.1 Materiales

4.5.1.1 *Hormigón*

Se considera el mismo tipo de hormigón para vigas, columnas y muros de la sección 4.4.1.1.

4.5.1.2 *Acero de Refuerzo*

Se considera el mismo tipo de acero de refuerzo B500SD de la sección 4.4.1.2.

4.5.2 Elementos

Los tipos de elementos estructurales y sus características se describen en la sección 4.4.2.

4.5.3 Secciones

Se realiza un predimensionamiento de los elementos estructurales como en la sección 4.4.3.

De igual manera este predimensionamiento debe cumplir con los requerimientos geométricos seccionales y satisfacer un análisis modal y un análisis sísmico espectral, donde se verificará los modos de vibración, participación de masa modal y derivas de piso.

Para el análisis sísmico espectral se utilizó un coeficiente de comportamiento de $q=4.5$.

Las secciones que cumplen con los requerimientos antes descritos para la edificación tipo 2 se muestran en la tabla 14.

Tabla 14: Secciones Edificio Tipo 2

Edificio Tipo 2			
Pisos	Vigas Principales (cm)	Columnas (cm)	Muros (cm)
16-20	Vigas 30x60	Columnas 45x45	Muros 600x25
11-15	Vigas 30x60	Columnas 55x55	Muros 600x30
6-10	Vigas 30x60	Columnas 65x65	Muros 600x35
1-5	Vigas 30x60	Columnas 75x75	Muros 600x40

4.5.4 Modelo método elementos finitos (MEF) y modelo método de columna ancha (MCA)

4.5.4.1 *Modelo método de elementos finitos*

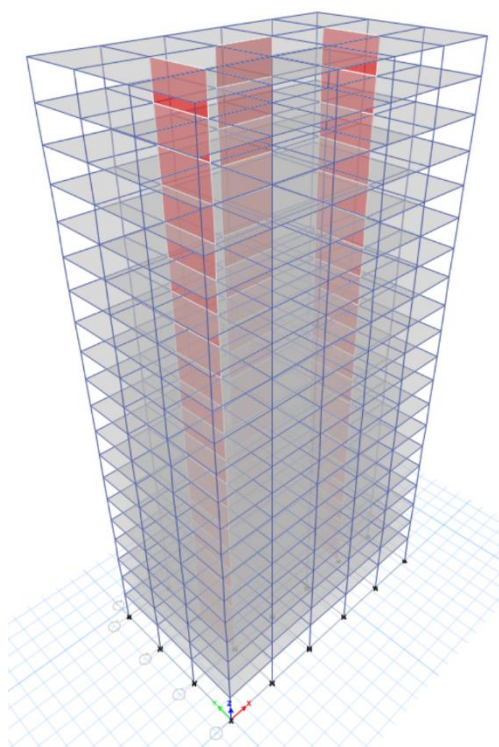


Figura 22: Modelo 3D del Edificio Tipo 2 con método de elementos finitos

La tabla 15 muestra los parámetros de comportamiento global de la estructura según el método de elementos finitos (Períodos y participación de masa).

Períodos		Participación de Masa			
Nº Modo	MEF (seg)	Nº Modo	MEF		
			UX (%)	UY (%)	RZ (%)
1	2.301	1	66.73%	0.00%	2.56%
2	2.002	2	0.00%	67.03%	0.00%
3	1.861	3	2.28%	0.00%	66.75%
4	0.679	4	13.24%	0.00%	0.94%
5	0.539	5	1.20%	0.00%	13.32%
6	0.532	6	0.00%	15.88%	0.00%
7	0.32	7	5.60%	0.00%	0.73%
8	0.25	8	0.83%	0.00%	5.71%

Tabla 15: Períodos y participación de masa Edificio Tipo 2 según método de elementos finitos

En la tabla 16 se muestran los valores de esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

Cortante (KN) MEF			Momento Flector (KN.m) MEF		
Piso	Sentido X	Sentido Y	Piso	Sentido X	Sentido Y
20	1063.545	499.613	20	3831.825	2241.657
19	670.387	429.014	19	5612.718	3481.455
18	869.064	616.438	18	6998.670	4503.262
17	1067.069	765.650	17	8283.473	5425.366
16	1355.011	957.105	16	9438.712	6156.817
15	892.331	772.125	15	11026.109	7138.428
14	1145.683	952.705	14	12237.951	7861.525
13	1216.557	1017.644	13	13152.186	8440.088
12	1297.570	1088.624	12	13844.266	8923.521
11	1572.236	1269.596	11	14307.740	9722.242
10	1207.599	1139.503	10	14309.900	10247.645
9	1590.211	1381.802	9	14482.446	11217.327
8	1825.126	1527.893	8	15002.501	12649.006
7	2108.707	1699.848	7	16534.559	14803.513
6	2518.052	1925.298	6	19778.711	17922.024
5	2523.402	1960.579	5	23773.328	21470.596
4	3099.382	2264.966	4	30234.955	26293.089
3	3553.575	2466.981	3	38703.169	32078.631
2	4187.546	2729.137	2	49684.473	39029.768
1	4369.070	2819.592	1	66127.781	49416.722

Tabla 16: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 2 según método de elementos finitos

En las figuras 23 y 24 se muestran los esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

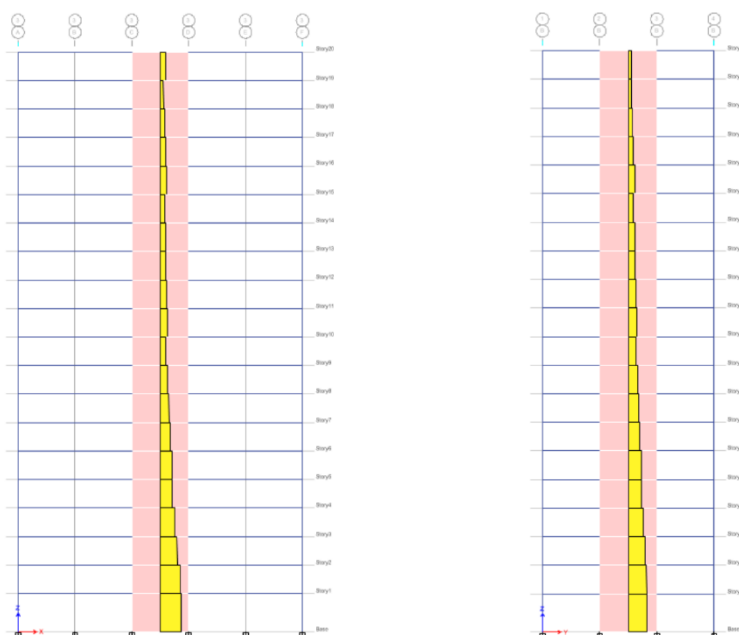


Figura 23: Cortantes en los muros Edificio Tipo 2 según método de elementos finitos

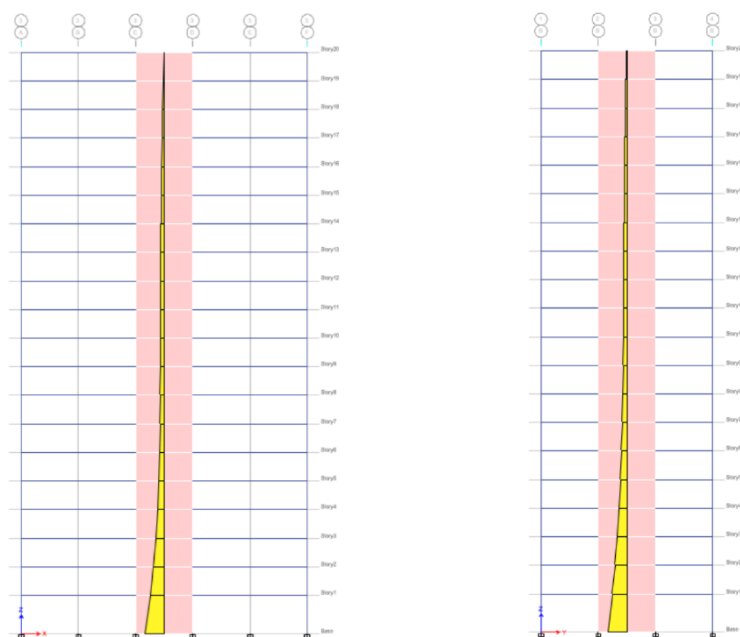


Figura 24: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 2 según método de elementos finitos

4.5.4.2 Modelo método de columna ancha

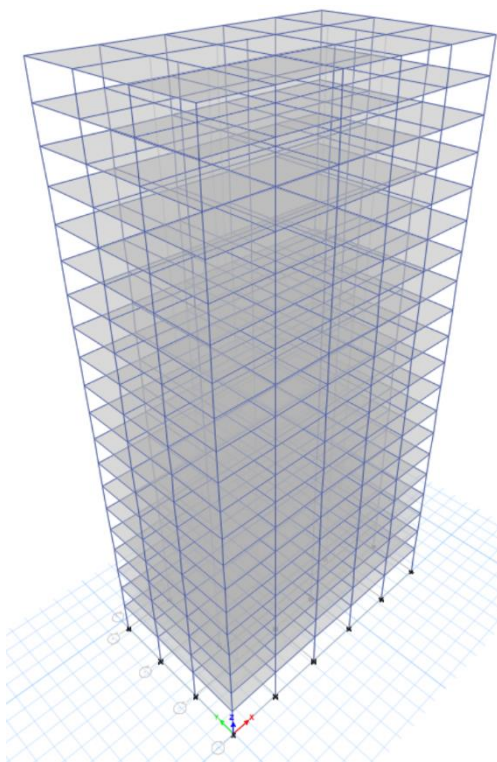


Figura 25: Modelo 3D del Edificio Tipo 2 con método de columna ancha

La tabla 17 muestra los parámetros de comportamiento global de la estructura según el método de columna ancha (Períodos y participación de masa).

Períodos		Participación de Masa			
Nº Modo	MCA (seg)	Nº Modo	MCA		
			UX (%)	UY (%)	RZ (%)
1	2.526	1	69.75%	0.00%	1.56%
2	2.102	2	0.00%	69.70%	0.00%
3	1.925	3	1.39%	0.00%	69.95%
4	0.719	4	12.88%	0.00%	0.69%
5	0.555	5	0.89%	0.00%	12.80%
6	0.553	6	0.00%	14.92%	0.00%
7	0.333	7	5.26%	0.00%	0.58%
8	0.256	8	0.66%	0.00%	5.30%

Tabla 17: Períodos y participación de masa Edificio Tipo 2 según método de columna ancha

La tabla 18 muestran los valores de esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

Cortante (KN) MCA			Momento Flector (KN.m) MCA		
Piso	Sentido X	Sentido Y	Piso	Sentido X	Sentido Y
20	1050.034	457.481	20	4009.028	2304.137
19	646.726	386.887	19	5817.366	3502.778
18	832.541	568.876	18	7275.657	4457.723
17	1009.692	712.269	17	8611.152	5284.863
16	1267.860	894.685	16	9680.547	5873.064
15	949.172	757.882	15	11256.248	6754.661
14	1169.780	922.634	14	12470.557	7372.352
13	1211.996	977.648	13	13452.918	7859.603
12	1254.173	1032.485	12	14219.698	8238.505
11	1480.509	1190.032	11	14611.721	8590.161
10	1163.505	1067.888	10	14640.829	8883.439
9	1488.508	1274.079	9	14607.404	9423.163
8	1673.758	1391.010	8	14611.498	10243.665
7	1902.359	1529.362	7	15200.068	11600.986
6	2271.650	1731.770	6	17111.667	13797.172
5	2271.691	1743.971	5	19828.011	16376.062
4	2778.286	2020.244	4	24926.807	20154.346
3	2916.495	2084.147	3	31091.603	24457.739
2	3354.491	2288.817	2	39251.188	29763.211
1	3813.502	2530.487	1	53363.613	38843.805

Tabla 18: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 2 según método columna ancha

En las figuras 26 y 27 se muestran los esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

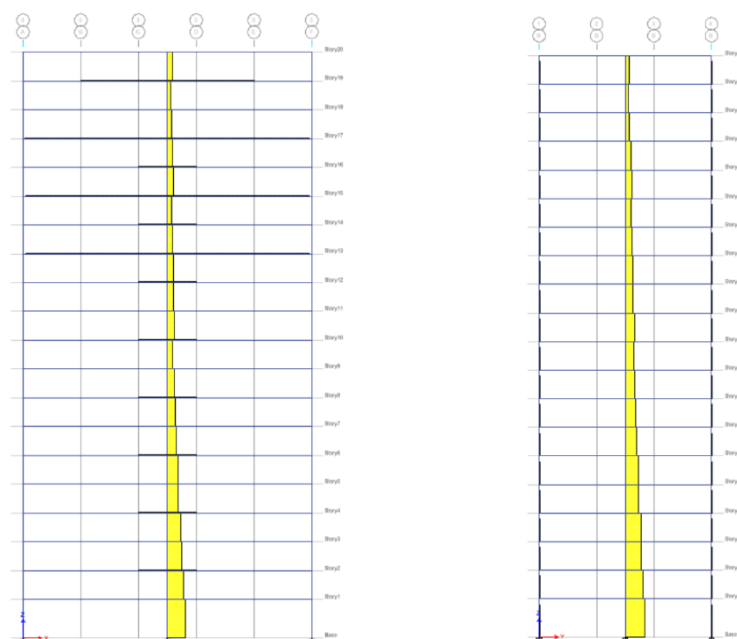


Figura 26: Cortantes en los muros Edificio Tipo 2 según método de columna ancha

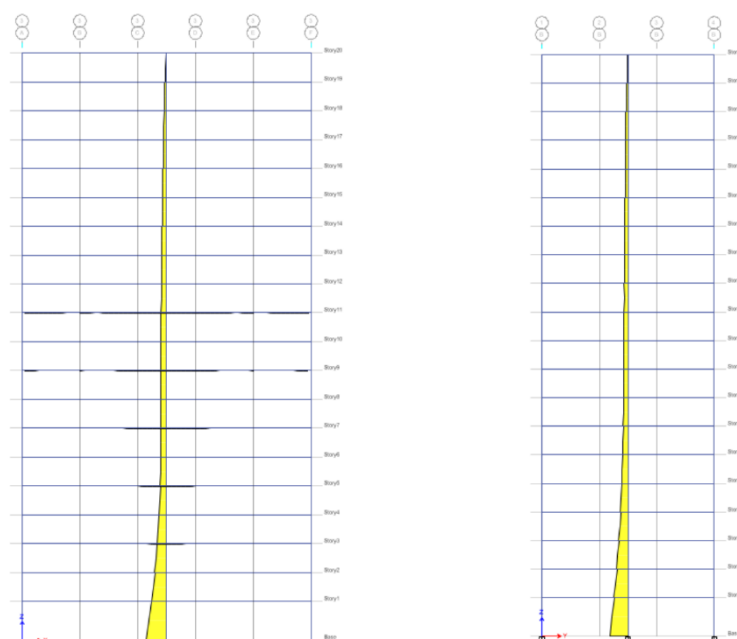


Figura 27: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 2 según método de columna ancha

4.6 Edificio Tipo 3

4.6.1 Materiales

4.6.1.1 Hormigón

Se considera un hormigón para vigas, columnas y muros con las características de la tabla 19.

Tabla 19: Características Hormigón 50 MPa

Peso Específico	25	KN/m ³
Módulo de elasticidad	38660380	KN/m ²
Coefficiente de Poisson	0.2	
Resistencia a compresión (fck)	50	N/mm ²

4.6.1.2 Acero de Refuerzo

Se considera el mismo tipo de acero de refuerzo B500SD de la sección 4.4.1.2.

4.6.2 Elementos

Los tipos de elementos estructurales y sus características se describen en la sección 4.4.2.

4.6.3 Secciones

Se realiza un predimensionamiento de los elementos estructurales como en la sección 4.4.3.

De igual manera este predimensionamiento debe cumplir con los requerimientos geométricos seccionales y satisfacer un análisis modal y un análisis sísmico espectral, donde se verificará los modos de vibración, participación de masa modal y derivas de piso.

Para el análisis sísmico espectral se utilizó un coeficiente de comportamiento de $q=4.5$.

Las secciones que cumplen con los requerimientos antes descritos para la edificación tipo 3 se muestran en la tabla 20:

Tabla 20: Secciones Edificio Tipo 3

Edificio Tipo 3			
Pisos	Vigas Principales (cm)	Columnas (cm)	Muros (cm)
36-40	Vigas 30x60	Columnas 45x45	Muros 600x25
31-35	Vigas 30x60	Columnas 50x50	Muros 600x25
26-30	Vigas 30x60	Columnas 55x55	Muros 600x30
21-25	Vigas 30x60	Columnas 60x60	Muros 600x35
16-20	Vigas 30x60	Columnas 65x65	Muros 600x40
11-15	Vigas 30x60	Columnas 70x70	Muros 600x40
6-10	Vigas 30x60	Columnas 75x75	Muros 600x45
1-5	Vigas 30x60	Columnas 80x80	Muros 600x50

4.6.4 Modelo método elementos finitos (MEF) y modelo método de columna ancha (MCA)

4.6.4.1 *Modelo método de elementos finitos*

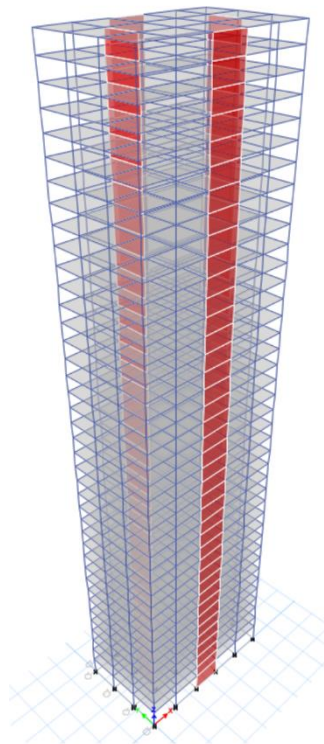


Figura 28: Modelo 3D del Edificio Tipo 3 con método de elementos finitos

La tabla 21 muestra los parámetros de comportamiento global de la estructura según el método de elementos finitos (Períodos y participación de masa).

Períodos		Participación de Masa			
Nº Modo	MEF (seg)	Nº Modo	MEF		
			UX (%)	UY (%)	RZ (%)
1	4.659	1	0.00%	67.96%	0.00%
2	4.568	2	68.29%	0.00%	0.00%
3	3.664	3	0.00%	0.00%	69.32%
4	1.396	4	13.21%	0.00%	0.00%
5	1.391	5	0.00%	13.68%	0.00%
6	1.139	6	0.00%	0.00%	12.41%
7	0.680	7	5.83%	0.00%	0.00%
8	0.672	8	0.00%	5.76%	0.00%

Tabla 21: Períodos y participación de masa Edificio Tipo 3 según método de elementos finitos

En la tabla 22 se muestran los valores de esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

Cortante (KN) MEF			Momento Flector (KN.m) MEF		
Piso	Sentido X	Sentido Y	Piso	Sentido X	Sentido Y
40	421.206	419.475	40	1846.038	1907.696
39	272.048	269.085	39	2938.803	2966.767
38	396.442	403.374	38	3794.338	3765.769
37	521.148	538.714	37	4560.827	4463.913
36	642.728	669.547	36	5271.573	5105.093
35	612.474	638.772	35	6186.806	5973.899
34	682.808	714.178	34	7023.152	6774.749
33	701.544	734.140	33	7791.127	7525.095
32	718.864	749.447	32	8471.270	8204.885
31	775.690	809.463	31	9015.197	8753.722
30	623.410	674.356	30	9526.775	9292.999
29	705.761	758.373	29	9892.092	9689.872
28	743.216	790.546	28	10142.758	9984.714
27	782.054	824.983	27	10338.067	10232.698
26	861.634	905.293	26	10475.275	10420.872
25	755.411	808.482	25	10651.542	10655.006
24	830.645	885.749	24	10793.794	10849.529
23	855.415	907.854	23	10905.463	11010.836
22	880.647	930.887	22	11013.553	11162.756
21	955.289	1007.860	21	11152.215	11356.823
20	850.634	916.541	20	11259.023	11500.866
19	931.690	1001.110	19	11391.554	11680.229
18	959.853	1029.693	18	11526.739	11859.590
17	987.895	1058.976	17	11697.945	12073.493
16	1060.838	1136.656	16	11919.183	12344.401
15	999.321	1071.066	15	12095.955	12552.392
14	1082.461	1159.771	14	12400.953	12901.637
13	1124.812	1203.817	13	12767.758	13313.207
12	1185.045	1265.576	12	13264.439	13854.796
11	1302.103	1386.187	11	14030.288	14666.874
10	1292.261	1392.409	10	14866.150	15579.709
9	1460.431	1563.036	9	16261.830	17066.430
8	1592.712	1695.735	8	18237.878	19134.394
7	1742.581	1846.480	7	20940.531	21933.127
6	1902.699	2006.524	6	24443.490	25536.857
5	1989.054	2101.106	5	28518.688	29755.759
4	2186.943	2296.678	4	33517.606	34912.232
3	2358.972	2465.659	3	39353.596	40921.061
2	2585.207	2675.546	2	46179.899	47898.912
1	2639.723	2724.757	1	56082.304	58055.242

Tabla 22: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 3 según método de elementos finitos

En las figuras 29 y 30 se muestran los esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

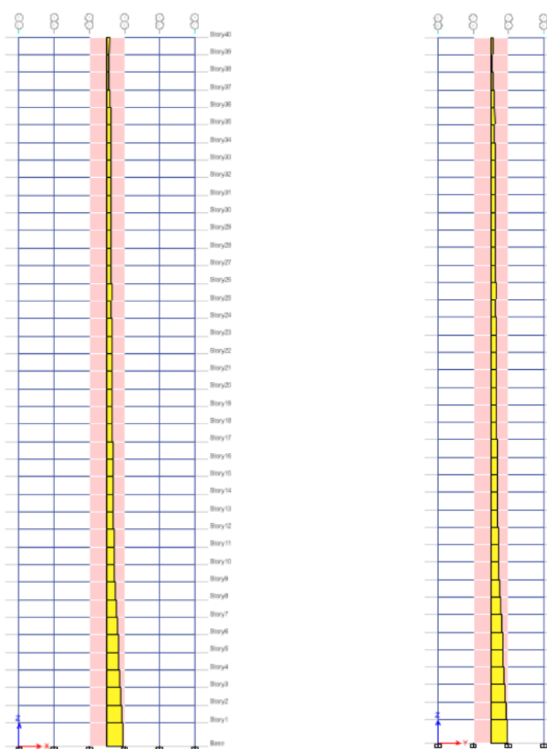


Figura 29: Cortantes en los muros Edificio Tipo 3 según método de elementos finitos

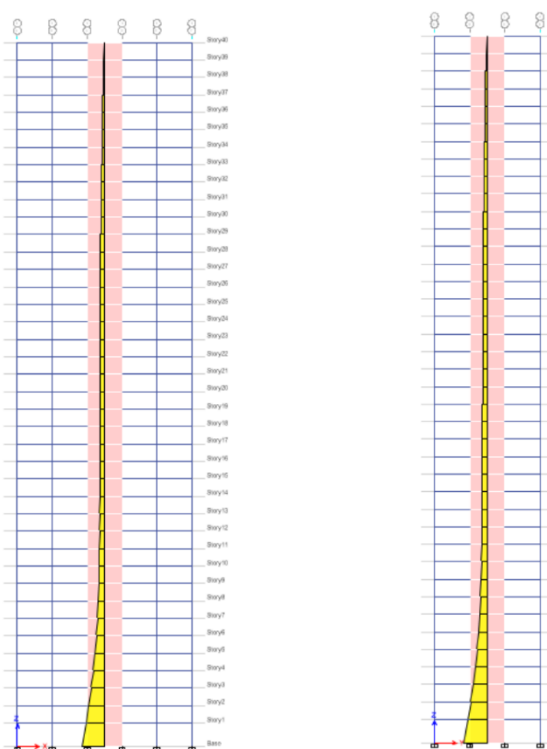


Figura 30: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 3 según método de elementos finitos

4.6.4.2 Modelo método de columna ancha

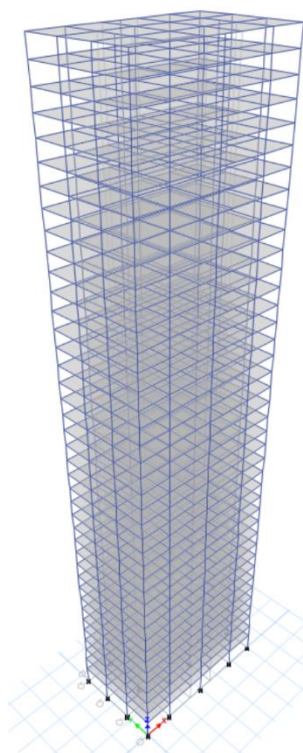


Figura 31: Modelo 3D del Edificio Tipo 3 con método de columna ancha

La tabla 23 muestra los parámetros de comportamiento global de la estructura según el método de columna ancha (Períodos y participación de masa).

Períodos		Participación de Masa			
Nº Modo	MCA (seg)	Nº Modo	MCA		
			UX (%)	UY (%)	RZ (%)
1	4.879	1	70.38%	0.00%	0.00%
2	4.858	2	0.00%	69.79%	0.00%
3	3.720	3	0.00%	0.00%	71.36%
4	1.451	4	12.84%	0.00%	0.00%
5	1.432	5	0.00%	13.55%	0.00%
6	1.151	6	0.00%	0.00%	12.07%
7	0.704	7	5.46%	0.00%	0.00%
8	0.690	8	0.00%	5.42%	0.00%

Tabla 23: Períodos y participación de masa Edificio Tipo 3 según método de columna ancha

La tabla 24 muestran los valores de esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

Cortante (KN) MCA			Momento Flector (KN.m) MCA		
Piso	Sentido X	Sentido Y	Piso	Sentido X	Sentido Y
40	407.468	391.977	40	1998.692	1981.499
39	262.642	251.383	39	3075.322	2997.280
38	393.526	393.948	38	3919.173	3749.588
37	521.472	532.851	37	4658.951	4384.099
36	644.800	665.757	36	5325.946	4949.130
35	618.988	642.155	35	6221.539	5751.620
34	688.634	718.752	34	7044.121	6498.242
33	706.008	740.310	33	7811.451	7211.358
32	716.661	753.818	32	8505.511	7871.399
31	770.942	810.692	31	9045.703	8402.732
30	686.537	724.466	30	9584.185	8941.220
29	757.710	796.237	29	9961.674	9336.216
28	786.160	823.310	28	10233.672	9640.260
27	816.745	852.314	27	10449.077	9899.270
26	893.437	927.916	26	10575.806	10087.466
25	823.005	853.587	25	10763.614	10330.761
24	895.818	926.494	24	10897.992	10527.698
23	917.931	947.290	23	11002.923	10694.608
22	939.865	968.325	22	11104.437	10853.890
21	1012.183	1040.273	21	11164.168	10970.042
20	942.965	968.597	20	11264.627	11111.572
19	1018.948	1046.090	19	11394.518	11281.042
18	1044.138	1072.104	18	11544.701	11474.286
17	1068.043	1097.376	17	11737.467	11699.023
16	1138.915	1171.181	16	11975.157	11968.308
15	1067.898	1100.324	15	12175.618	12172.940
14	1143.814	1180.357	14	12482.701	12488.578
13	1173.127	1212.269	13	12816.022	12825.812
12	1217.140	1258.650	12	13218.411	13226.873
11	1315.297	1359.513	11	13787.434	13788.240
10	1317.959	1361.564	10	14411.890	14387.496
9	1461.457	1507.392	9	15477.096	15414.976
8	1573.060	1620.507	8	17009.342	16895.446
7	1701.438	1750.381	7	19168.308	18994.155
6	1842.956	1895.306	6	22057.571	21827.269
5	1919.114	1971.112	5	25503.542	25223.131
4	2107.653	2162.938	4	29871.185	29559.918
3	2106.719	2166.686	3	34537.774	34226.848
2	2273.046	2338.122	2	40041.347	39767.946
1	2500.037	2575.445	1	49166.932	49095.206

Tabla 24: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 3 según método columna ancha

En las figuras 32 y 33 se muestran los esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

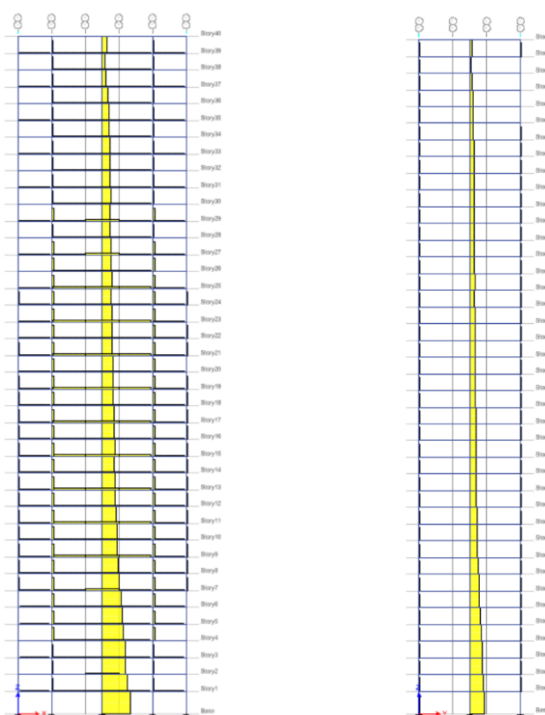


Figura 32: Cortantes en los muros Edificio Tipo 3 según método de columna ancha

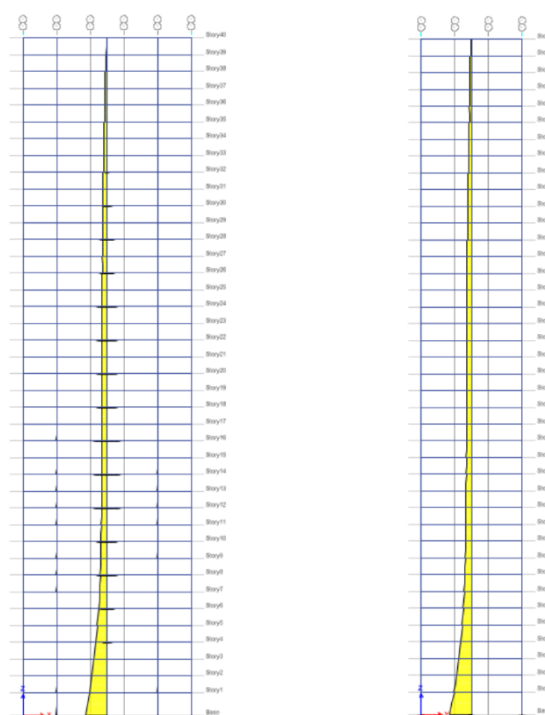


Figura 33: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 3 según método de columna ancha

4.7 Edificio Tipo A1

4.7.1 Materiales

4.7.1.1 *Hormigón*

Se considera el mismo tipo de hormigón para vigas, columnas y muros de la sección 4.4.1.1.

4.7.1.2 *Acero de Refuerzo*

Se considera el mismo tipo de acero de refuerzo B500SD de la sección 4.4.1.2.

4.7.2 Elementos

Los tipos de elementos estructurales y sus características se describen en la sección 4.4.2.

4.7.3 Secciones

Se realiza un predimensionamiento de los elementos estructurales como en la sección 4.4.3.

De igual manera este predimensionamiento debe cumplir con los requerimientos geométricos seccionales y satisfacer un análisis modal y un análisis sísmico espectral, donde se verificará los modos de vibración, participación de masa modal y derivas de piso.

Para el análisis sísmico espectral se utilizó un coeficiente de comportamiento de $q=4$.

Las secciones que cumplen con los requerimientos antes descritos para la edificación tipo A1 se muestran en la tabla 25.

Tabla 25: Secciones Edificio Tipo A1

Edificio Tipo A1				
Pisos	Vigas Principales (cm)	Columnas (cm)	Muros X (cm)	Muros Y (cm)
16-20	Vigas 30x60	Columnas 55x55	Muros 225x25	Muros 600x25
11-15	Vigas 30x60	Columnas 55x55	Muros 225x30	Muros 600x30
6-10	Vigas 30x60	Columnas 65x65	Muros 225x40	Muros 600x40
1-5	Vigas 30x60	Columnas 75x75	Muros 225x55	Muros 600x55

4.7.4 Modelo método elementos finitos (MEF) y modelo método de columna ancha (MCA)

4.7.4.1 *Modelo método de elementos finitos*

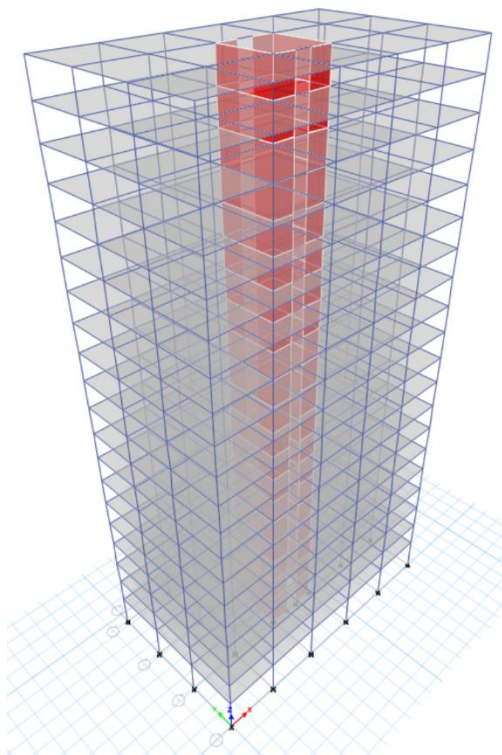


Figura 34: Modelo 3D del Edificio Tipo A1 con método de elementos finitos

La tabla 26 muestra los parámetros de comportamiento global de la estructura según el método de elementos finitos (Períodos y participación de masa).

Períodos		Participación de Masa			
Nº Modo	MEF (seg)	Nº Modo	MEF		
			UX (%)	UY (%)	RZ (%)
1	1.719	1	69.89%	0.00%	0.00%
2	1.714	2	0.00%	0.00%	72.66%
3	1.419	3	0.00%	62.56%	0.00%
4	0.553	4	0.00%	0.00%	12.90%
5	0.536	5	14.24%	0.00%	0.00%
6	0.340	6	0.00%	19.06%	0.00%
7	0.297	7	0.00%	0.00%	5.59%
8	0.276	8	5.47%	0.00%	0.00%

Tabla 26: Períodos y participación de masa Edificio Tipo A1 según método de elementos finitos

En la tabla 27 se muestran los valores de esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

Cortante (KN) MEF			Momento Flector (KN.m) MEF		
Piso	Sentido X	Sentido Y	Piso	Sentido X	Sentido Y
20	220.065	810.296	20	370.722	1262.375
19	244.327	618.028	19	393.647	1581.899
18	357.395	937.348	18	428.228	2031.265
17	469.335	1216.255	17	470.160	2568.979
16	560.601	1437.085	16	562.391	3244.112
15	610.745	1580.677	15	682.650	3995.442
14	676.373	1764.768	14	786.056	4870.869
13	742.668	1958.029	13	902.772	5878.627
12	802.492	2146.309	12	1028.796	7017.294
11	915.109	2416.356	11	1263.202	8499.182
10	841.015	2348.824	10	1309.151	9888.093
9	965.822	2669.942	9	1420.930	11680.976
8	1043.317	2917.014	8	1559.864	13718.453
7	1136.729	3185.375	7	1774.054	16055.421
6	1240.249	3410.825	6	2148.826	18760.317
5	1273.059	3552.526	5	2467.825	21482.963
4	1398.786	3825.918	4	2906.123	24656.923
3	1531.299	4125.431	3	3548.038	28185.791
2	1682.556	4477.250	2	4543.859	32097.687
1	1558.652	4041.576	1	6921.093	37692.476

Tabla 27: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo A1 según método de elementos finitos

En las figuras 35 y 36 se muestran los esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

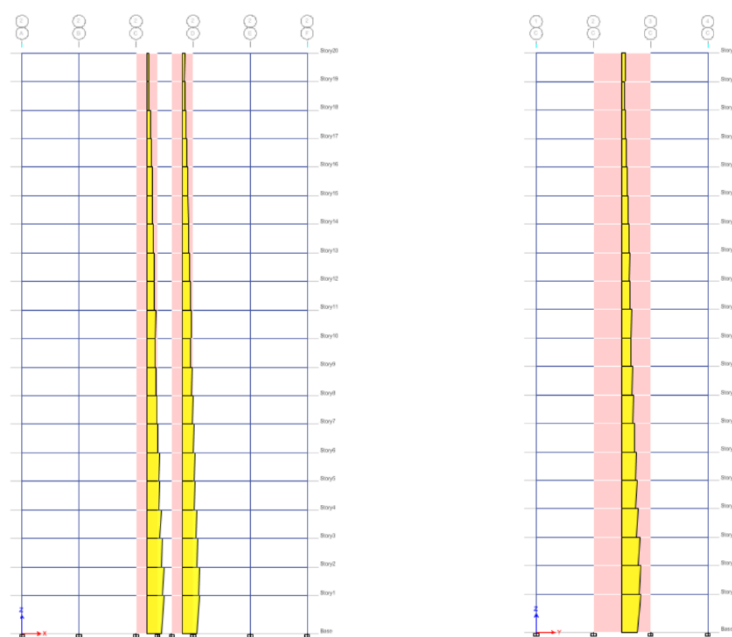


Figura 35: Cortantes en los muros Edificio Tipo A1 según método de elementos finitos

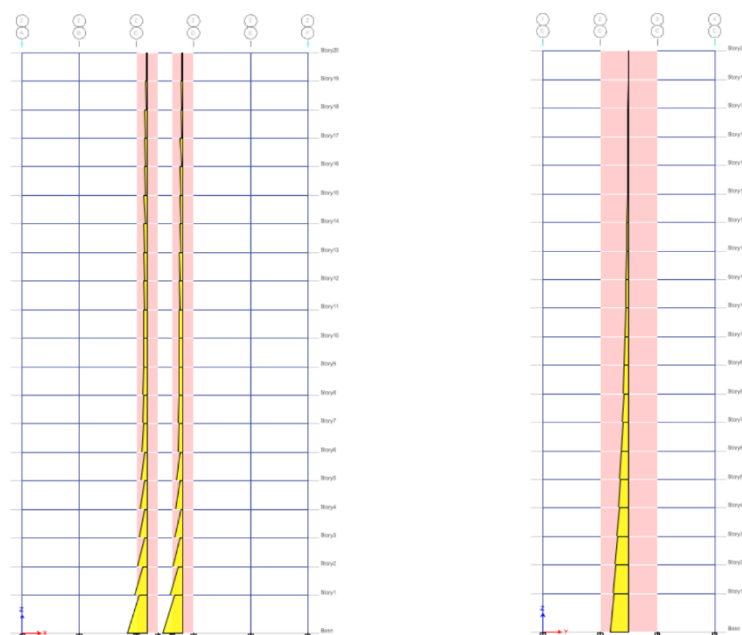


Figura 36: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo A1 según método de elementos finitos

4.7.4.2 Modelo método de columna ancha

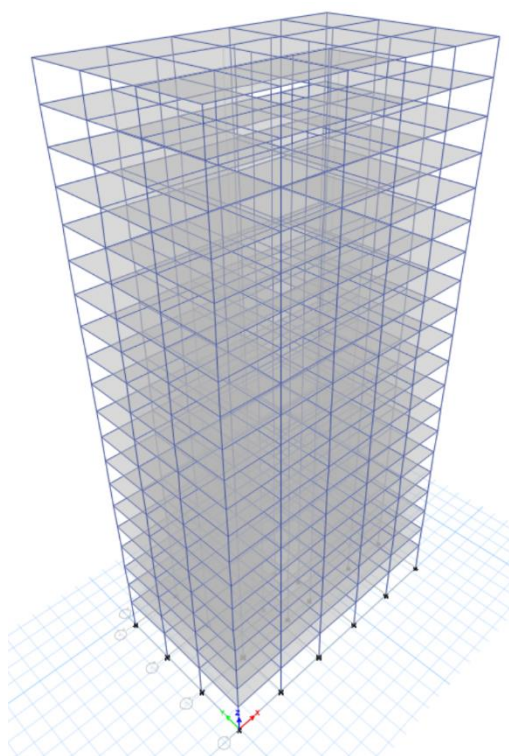


Figura 37: Modelo 3D del Edificio Tipo A1 con método de columna ancha

La tabla 28 muestra los parámetros de comportamiento global de la estructura según el método de columna ancha (Períodos y participación de masa).

Períodos		Participación de Masa			
Nº Modo	MCA (seg)	Nº Modo	MCA		
			UX (%)	UY (%)	RZ (%)
1	1.899	1	0.00%	0.00%	76.61%
2	1.745	2	73.68%	0.00%	0.00%
3	1.568	3	0.00%	67.32%	0.00%
4	0.634	4	0.00%	0.00%	11.06%
5	0.563	5	13.86%	0.00%	0.00%
6	0.422	6	0.00%	17.21%	0.00%
7	0.356	7	0.00%	0.00%	4.34%
8	0.298	8	4.54%	0.00%	0.00%

Tabla 28: Períodos y participación de masa Edificio Tipo A1 según método de columna ancha

La tabla 29 muestran los valores de esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

Cortante (KN) MCA			Momento Flector (KN.m) MCA		
Piso	Sentido X	Sentido Y	Piso	Sentido X	Sentido Y
20	167.134	569.100	20	399.109	2270.792
19	227.912	568.992	19	316.154	2739.577
18	345.645	866.383	18	337.275	3025.603
17	458.140	1127.023	17	468.585	3341.827
16	546.479	1322.526	16	622.335	3854.793
15	647.386	1531.882	15	807.423	4522.063
14	717.012	1693.582	14	968.784	5293.980
13	785.912	1853.247	13	1123.725	6239.093
12	844.843	1997.398	12	1260.349	7337.277
11	938.130	2225.695	11	1471.379	8683.045
10	921.203	2185.522	10	1480.053	9648.714
9	1018.596	2461.088	9	1605.064	10979.297
8	1083.201	2657.570	8	1726.590	12549.521
7	1154.720	2874.142	7	1878.447	14494.515
6	1233.778	3096.598	6	2089.279	16913.667
5	1273.471	3229.379	5	2269.345	19576.612
4	1351.891	3506.294	4	2613.413	23097.726
3	1401.330	3633.028	3	3106.166	27167.634
2	1394.045	3904.587	2	3755.130	32474.566
1	1353.584	3986.879	1	6446.578	44017.596

Tabla 29: Cortantes y Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo A1 según método columna ancha

En las figuras 38 y 39 se muestran los esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura en las dos direcciones de análisis (Cortantes y Momentos Flectores).

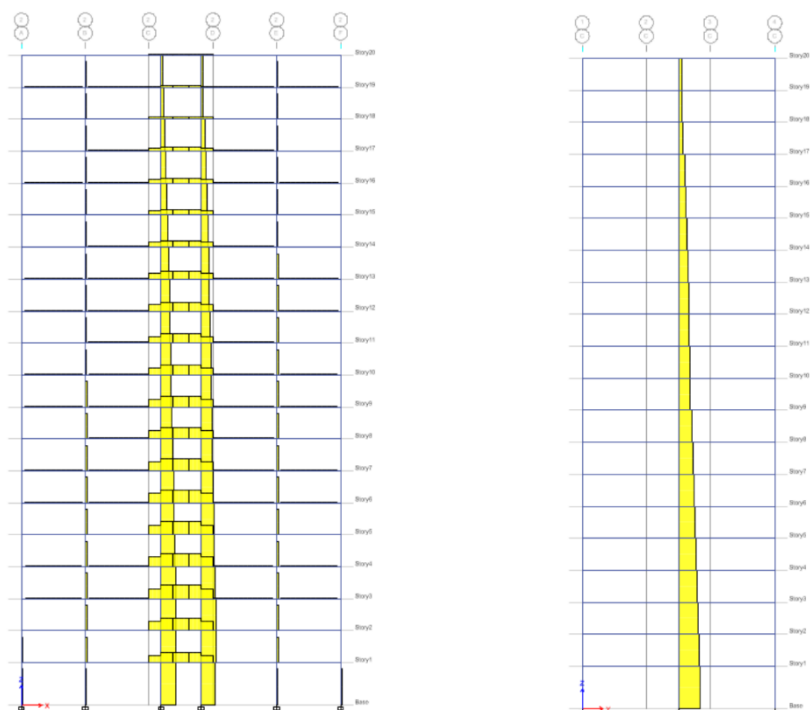


Figura 38: Cortantes en los muros Edificio Tipo A1 según método de columna ancha

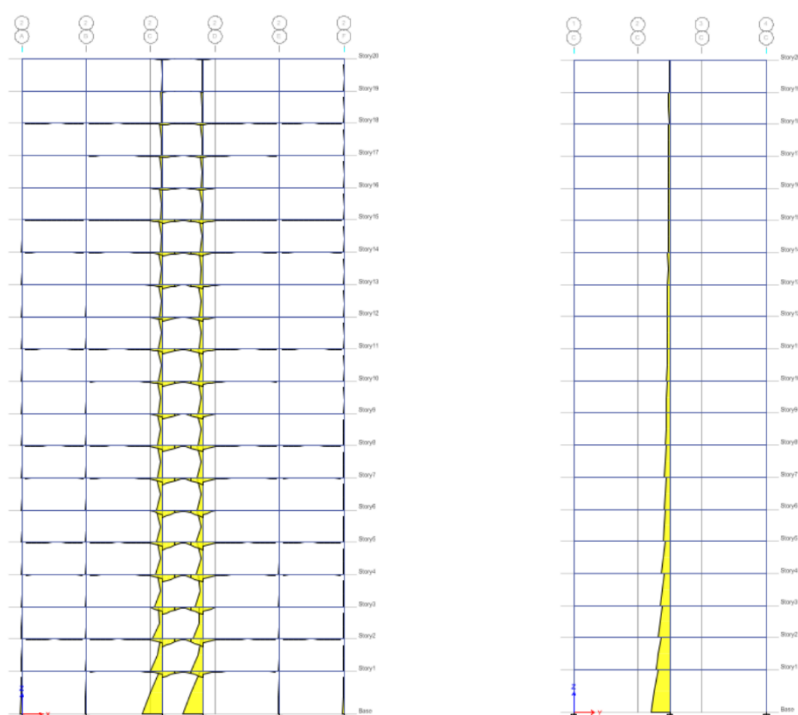


Figura 39: Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo A1 según método de columna ancha

4.8 Comparativa entre Método de Columna (MCA) y Método de Elementos Finitos (MEF)

A partir de los resultados obtenidos del comportamiento global, esfuerzos cortantes y momentos flectores de los diferentes casos de estudio, se realiza una comparativa entre el método de elementos finitos y el método de columna ancha, esto con el fin de validar el método de columna ancha y poder utilizarlo en el desarrollo del método de Doble Análisis Lineal.

Los parámetros que se analizan en el comportamiento global de la estructura están definidos por los períodos, participación de masas, desplazamientos y derivas de piso.

Para la obtención de los esfuerzos cortantes y de momento flector, se analiza los resultados de uno de los muros en cada dirección de la estructura.

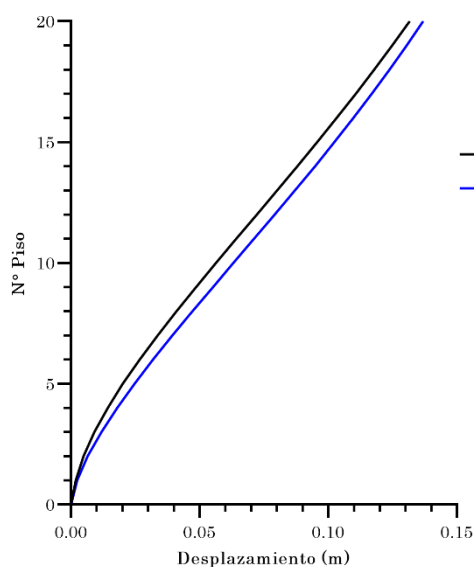
Para el cálculo de los errores se establece que el método exacto es el de elementos finitos (MEF).

4.8.1 Edificio Tipo 1

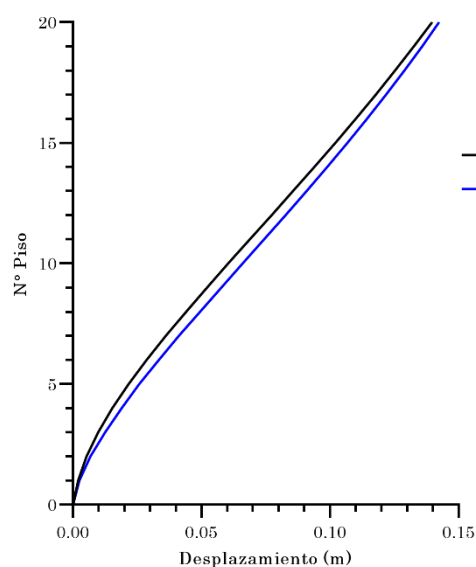
Períodos			
Nº Modo	MEF (seg)	MCA (seg)	Error (%)
1	2.039	2.190	7.41
2	2.017	2.132	5.70
3	1.675	1.739	3.82
4	0.541	0.567	4.81
5	0.534	0.557	4.31
6	0.453	0.468	3.31
7	0.236	0.244	3.39
8	0.234	0.242	3.42

Tabla 30: Comparativa de Períodos Edificio Tipo 1 según MEF y MCA

En las gráficas 2 y 3 se muestran los desplazamientos y derivas de piso del Edificio Tipo 1 según los métodos de elementos finitos (MEF) y columna ancha (MCA).

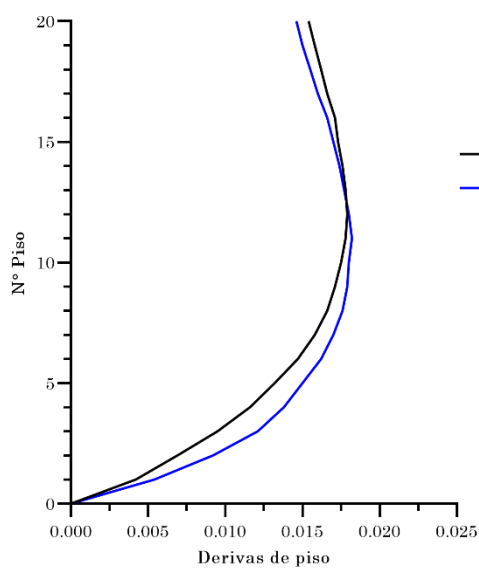


Desplazamientos en el sentido X

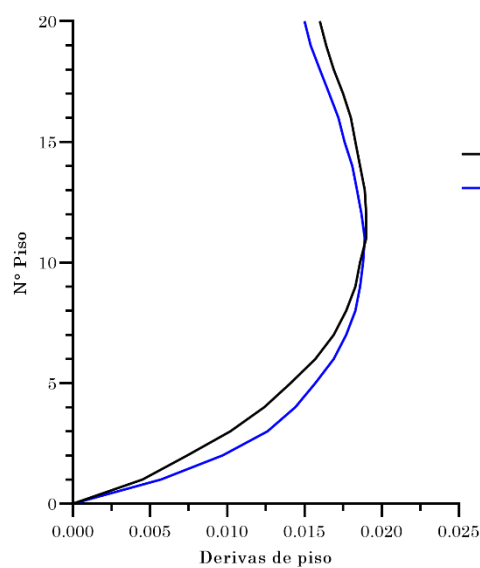


Desplazamientos en el sentido Y

Gráfica 2: Comparativa de desplazamientos Edificio Tipo 1 según MEF y MCA



Derivas en el sentido X



Derivas en el sentido Y

Gráfica 3: Comparativa de derivas de piso Edificio Tipo 1 según MEF y MCA

En la tabla 31 y 32 se muestran las comparativas de los valores de esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura según el método de elementos finitos y columna ancha (Cortantes y Momentos Flectores).

Cortante (KN) Sentido X			
Piso	MEF	MCA	Error (%)
20	527.194	517.668	1.81
19	493.397	466.999	5.35
18	679.560	646.573	4.85
17	830.713	791.434	4.73
16	979.300	935.651	4.46
15	873.601	903.020	3.37
14	1005.489	1022.136	1.66
13	1080.153	1083.349	0.30
12	1154.443	1137.407	1.48
11	1341.951	1301.822	2.99
10	1172.484	1153.786	1.59
9	1434.198	1381.869	3.65
8	1593.023	1510.420	5.19
7	1776.834	1661.803	6.47
6	2024.796	1887.910	6.76
5	2048.305	1900.450	7.22
4	2365.372	2192.287	7.32
3	2583.460	2287.939	11.44
2	2852.566	2494.815	12.54
1	2996.272	2757.130	7.98

Cortante (KN) Sentido Y			
Piso	MEF	MCA	Error (%)
20	520.783	491.571	5.61
19	492.862	459.183	6.83
18	691.112	653.573	5.43
17	851.463	811.094	4.74
16	1012.938	967.208	4.51
15	934.733	939.487	0.51
14	1078.212	1067.653	0.98
13	1156.144	1135.186	1.81
12	1231.506	1193.215	3.11
11	1426.841	1364.355	4.38
10	1265.559	1209.881	4.40
9	1533.220	1442.201	5.94
8	1689.517	1570.044	7.07
7	1871.930	1720.504	8.09
6	2123.972	1950.746	8.16
5	2152.663	1954.221	9.22
4	2473.288	2251.628	8.96
3	2687.710	2349.759	12.57
2	2942.144	2561.365	12.94
1	3086.836	2839.801	8.00

Tabla 31: Comparativa de Cortantes en los muros Edificio Tipo 1 según MEF y MCA

Momento Flector (KN.m) Sentido X			
Piso	MEF	MCA	Error (%)
20	2241.578	2481.823	10.72
19	3604.430	3871.393	7.41
18	4808.254	5067.629	5.39
17	5951.424	6152.401	3.38
16	7023.717	7089.274	0.93
15	8154.934	8110.093	0.55
14	9082.245	8932.712	1.65
13	9944.413	9610.949	3.35
12	10742.458	10239.974	4.68
11	11631.330	10871.579	6.53
10	12183.088	11236.731	7.77
9	13129.484	11802.057	10.11
8	14542.885	12651.549	13.01
7	16719.141	14081.751	15.77
6	19962.272	16459.099	17.55
5	23625.973	19268.991	18.44
4	28630.620	23376.205	18.35
3	34686.308	28160.042	18.82
2	41960.935	34001.351	18.97
1	53007.704	43909.635	17.16

Momento Flector (KN.m) Sentido Y			
Piso	MEF	MCA	Error (%)
20	2380.291	2508.314	5.38
19	3764.763	3873.250	2.88
18	4930.739	4997.641	1.36
17	5988.662	5985.493	0.05
16	6920.290	6809.722	1.60
15	7945.243	7737.704	2.61
14	8764.240	8468.246	3.38
13	9591.974	9066.347	5.48
12	10397.374	9672.467	6.97
11	11317.158	10344.953	8.59
10	11936.915	10747.204	9.97
9	12992.020	11368.914	12.49
8	14531.399	12275.798	15.52
7	16840.544	13752.696	18.34
6	20228.097	16171.979	20.05
5	24067.378	18994.993	21.08
4	29267.279	23123.025	20.99
3	35518.968	27940.774	21.34
2	42962.710	33842.608	21.23
1	54305.737	43999.196	18.98

Tabla 32: Comparativa de Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 1 según MEF y MCA

Las tablas 30, 31 y 32 muestran el comportamiento global, esfuerzos cortantes y momentos flectores de la estructura tipo 1 en los sentidos principales X y Y.

En resultados de comportamiento global de la estructura, los períodos correspondientes a los diferentes modos de vibración tienen errores entre 3.42% y 7.41%. La participación de masa tiene errores que oscilan entre el 4% y 9%.

Los desplazamientos que se muestran en la gráfica 2, para el sentido X y Y, tienen un comportamiento muy similar ya que mantienen una armonía en su forma. El desplazamiento del techo de la edificación tiene un error del 3.94% en el sentido X y un error del 1.91% en el sentido Y.

Las derivas se pueden observar en la gráfica 3, con un comportamiento muy similar, pero con algunos pequeños cambios de pendiente en algunos puntos de la gráfica.

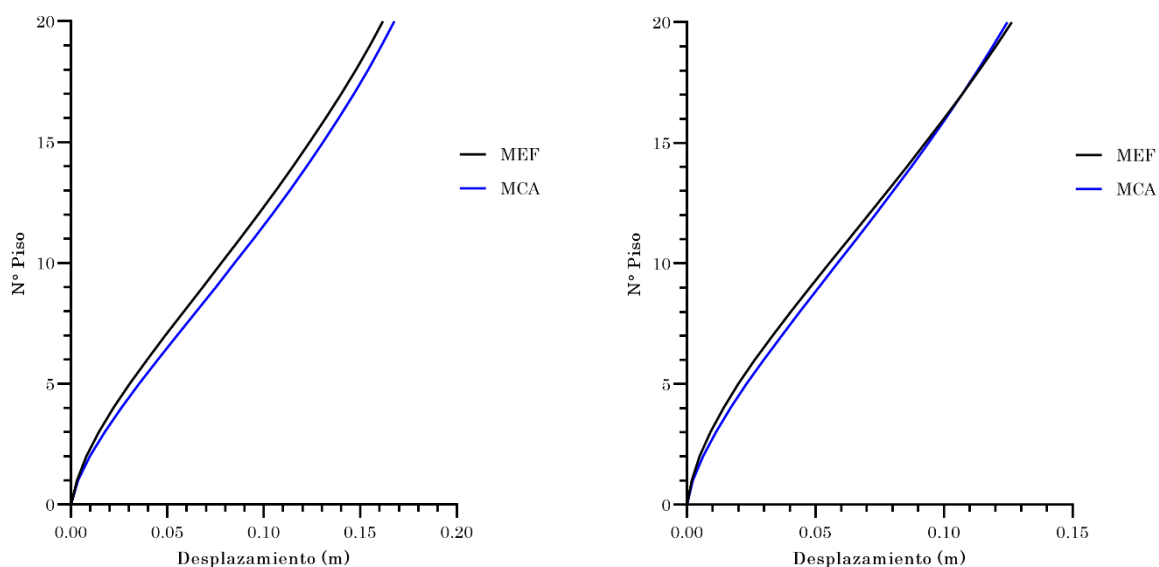
En los resultados de esfuerzos, el cortante en el sentido X y el sentido Y tiene errores entre 1% y 13%, según la variación del piso. Los momentos flectores en el sentido X producen errores entre 1% y 19%, mientras en el sentido Y entre el 1% y 21%.

4.8.2 Edificio Tipo 2

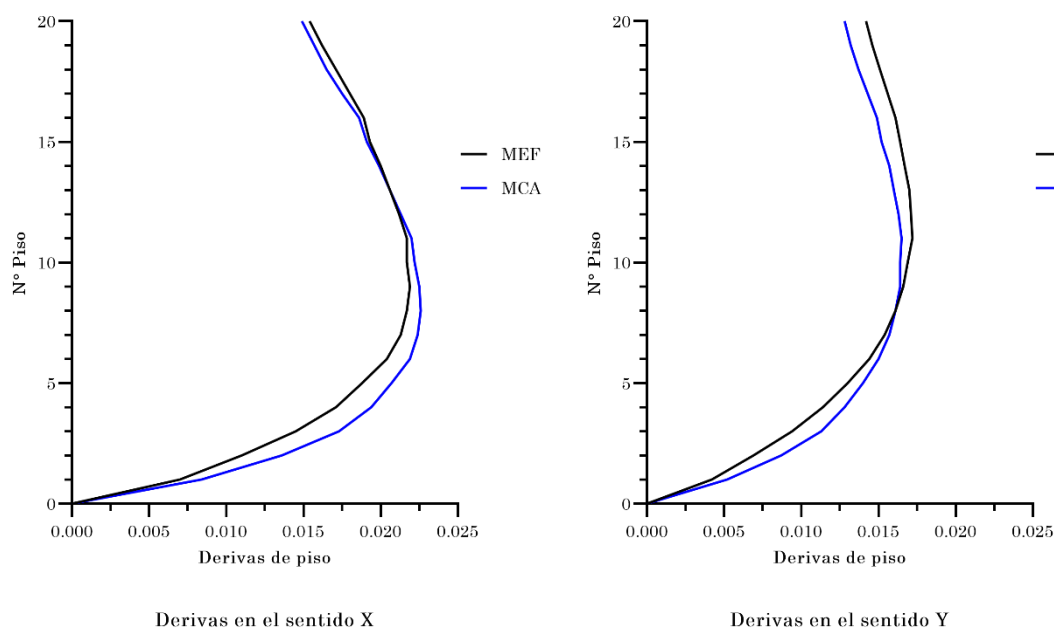
Períodos			
Nº Modo	MEF (seg)	MCA (seg)	Error (%)
1	2.301	2.526	9.78
2	2.002	2.102	5.00
3	1.861	1.925	3.44
4	0.679	0.719	5.89
5	0.539	0.555	2.97
6	0.532	0.553	3.95
7	0.32	0.333	4.06
8	0.25	0.256	2.40

Tabla 33: Comparativa de Períodos Edificio Tipo 2 según MEF y MCA

En las gráficas 4 y 5 se muestran los desplazamientos y derivas de piso del Edificio Tipo 2 según los métodos de elementos finitos (MEF) y columna ancha (MCA).



Gráfica 4: Comparativa de desplazamientos Edificio Tipo 2 según MEF y MCA



Gráfica 5: Comparativa de derivas de piso Edificio Tipo 2 según MEF y MCA

En la tabla 34 y 35 se muestran las comparativas de los valores de esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura según el método de elementos finitos y columna ancha (Cortantes y Momentos Flectores).

Cortante (KN) Sentido X				Cortante (KN) Sentido Y			
Piso	MEF	MCA	Error (%)	Piso	MEF	MCA	Error (%)
20	1063.545	1050.034	1.27	20	499.613	457.481	8.43
19	670.387	646.726	3.53	19	429.014	386.887	9.82
18	869.064	832.541	4.20	18	616.438	568.876	7.72
17	1067.069	1009.692	5.38	17	765.650	712.269	6.97
16	1355.011	1267.860	6.43	16	957.105	894.685	6.52
15	892.331	949.172	6.37	15	772.125	757.882	1.84
14	1145.683	1169.780	2.10	14	952.705	922.634	3.16
13	1216.557	1211.996	0.37	13	1017.644	977.648	3.93
12	1297.570	1254.173	3.34	12	1088.624	1032.485	5.16
11	1572.236	1480.509	5.83	11	1269.596	1190.032	6.27
10	1207.599	1163.505	3.65	10	1139.503	1067.888	6.28
9	1590.211	1488.508	6.40	9	1381.802	1274.079	7.80
8	1825.126	1673.758	8.29	8	1527.893	1391.010	8.96
7	2108.707	1902.359	9.79	7	1699.848	1529.362	10.03
6	2518.052	2271.650	9.79	6	1925.298	1731.770	10.05
5	2523.402	2271.691	9.98	5	1960.579	1743.971	11.05
4	3099.382	2778.286	10.36	4	2264.966	2020.244	10.80
3	3553.575	2916.495	17.93	3	2466.981	2084.147	15.52
2	4187.546	3354.491	19.89	2	2729.137	2288.817	16.13
1	4369.070	3813.502	12.72	1	2819.592	2530.487	10.25

Tabla 34: Comparativa de Cortantes en los muros Edificio Tipo 2 según MEF y MCA

Momento Flector (KN.m) Sentido X				Momento Flector (KN.m) Sentido Y			
Piso	MEF	MCA	Error (%)	Piso	MEF	MCA	Error (%)
20	3831.825	4009.028	4.62	20	2241.657	2304.137	2.79
19	5612.718	5817.366	3.65	19	3481.455	3502.778	0.61
18	6998.670	7275.657	3.96	18	4503.262	4457.723	1.01
17	8283.473	8611.152	3.96	17	5425.366	5284.863	2.59
16	9438.712	9680.547	2.56	16	6156.817	5873.064	4.61
15	11026.109	11256.248	2.09	15	7138.428	6754.661	5.38
14	12237.951	12470.557	1.90	14	7861.525	7372.352	6.22
13	13152.186	13452.918	2.29	13	8440.088	7859.603	6.88
12	13844.266	14219.698	2.71	12	8923.521	8238.505	7.68
11	14307.740	14611.721	2.12	11	9722.242	8590.161	11.64
10	14309.900	14640.829	2.31	10	10247.645	8883.439	13.31
9	14482.446	14607.404	0.86	9	11217.327	9423.163	15.99
8	15002.501	14611.498	2.61	8	12649.006	10243.665	19.02
7	16534.559	15200.068	8.07	7	14803.513	11600.986	21.63
6	19778.711	17111.667	13.48	6	17922.024	13797.172	23.02
5	23773.328	19828.011	16.60	5	21470.596	16376.062	23.73
4	30234.955	24926.807	17.56	4	26293.089	20154.346	23.35
3	38703.169	31091.603	19.67	3	32078.631	24457.739	23.76
2	49684.473	39251.188	21.00	2	39029.768	29763.211	23.74
1	66127.781	53363.613	19.30	1	49416.722	38843.805	21.40

Tabla 35: Comparativa de Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 2 según MEF y MCA

Las tablas 33, 34 y 35 muestran el comportamiento global, esfuerzos cortantes y momentos flectores de la estructura tipo 2 en los sentidos principales X y Y.

En resultados de comportamiento global de la estructura, los períodos correspondientes a los diferentes modos de vibración tienen errores entre 2.40% y 9.78%. La participación de masa tiene errores que oscilan entre el 3% y 7%.

Los desplazamientos que se muestran en la gráfica 4, para el sentido X y Y, tienen un comportamiento muy similar ya que mantienen una armonía en su forma. El desplazamiento del techo de la edificación tiene un error del 3.65% en el sentido X y un error del 1.41% en el sentido Y.

Las derivas se pueden observar en la gráfica 5, con un comportamiento muy similar, pero con algunos pequeños cambios de pendiente en algunos puntos de la gráfica, lo que provoca un entrecruce de trayectorias.

En los resultados de esfuerzos, el cortante en el sentido X tiene errores entre 1% y 20%, según la variación del piso, pero de los cuales los errores mayores al 10% están en los primeros tres pisos. Para el sentido Y los errores varían entre el 2% y 16%, con los mayores errores en el piso 2 y 3.

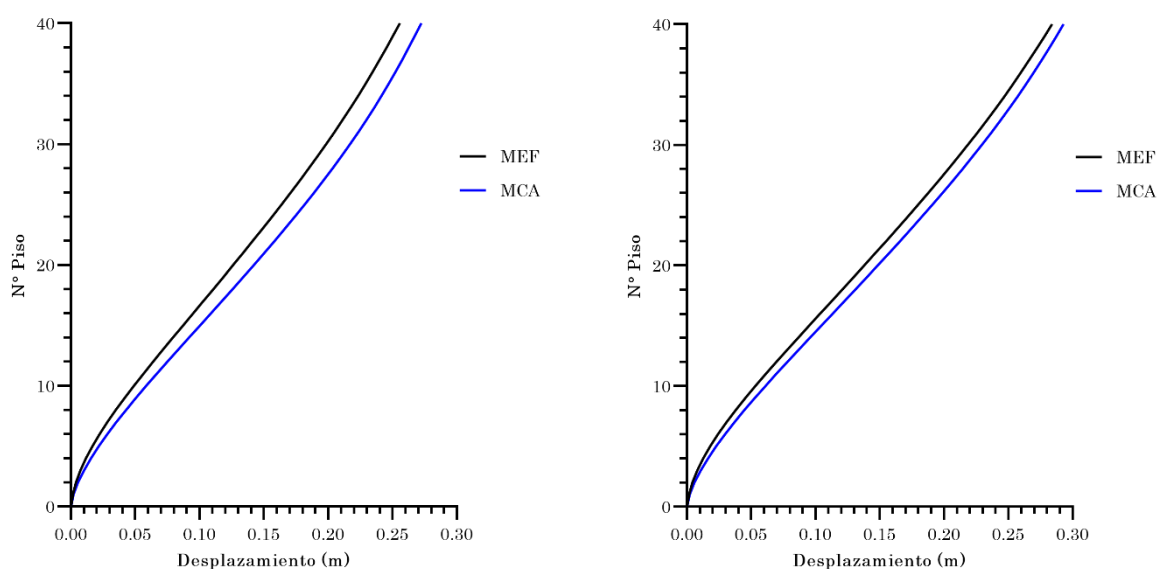
Los momentos flectores en el sentido X producen errores entre 1% y 21%, mientras en el sentido Y entre el 1% y 24%.

4.8.3 Edificio Tipo 3

Períodos			
Nº Modo	MEF (seg)	MCA (seg)	Error (%)
1	4.659	4.879	4.72
2	4.568	4.858	6.35
3	3.664	3.720	1.53
4	1.396	1.451	3.94
5	1.391	1.432	2.95
6	1.139	1.151	1.05
7	0.680	0.704	3.53
8	0.672	0.690	2.68

Tabla 36: Comparativa de Períodos Edificio Tipo 3 según MEF y MCA

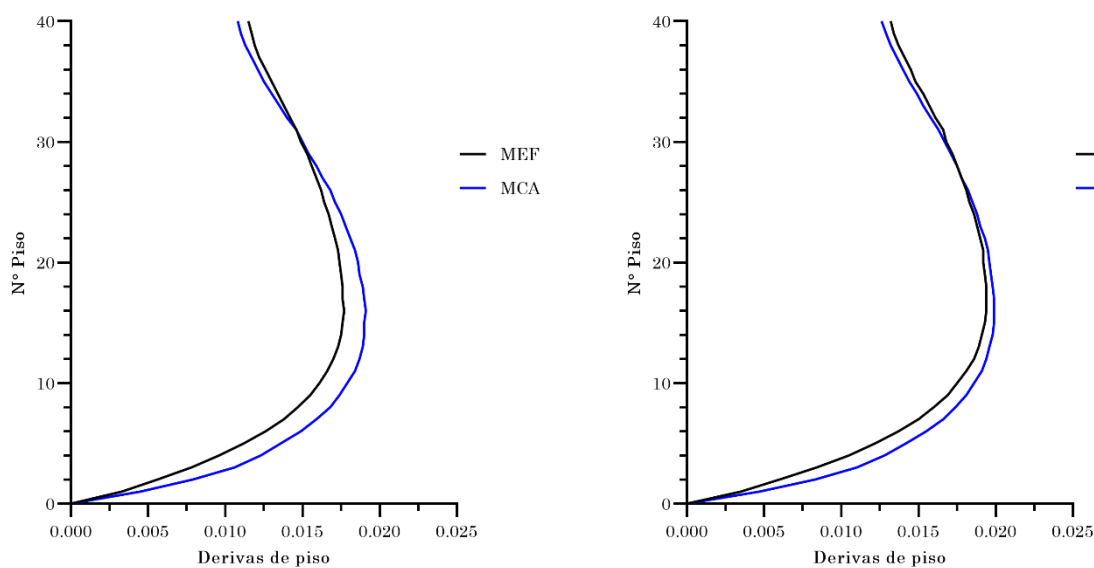
En las gráficas 6 y 7 se muestran los desplazamientos y derivas de piso del Edificio Tipo 3 según los métodos de elementos finitos (MEF) y columna ancha (MCA).



Desplazamientos en el sentido X

Desplazamientos en el sentido Y

Gráfica 6: Comparativa de desplazamientos Edificio Tipo 3 según MEF y MCA



Derivas en el sentido X

Derivas en el sentido Y

Gráfica 7: Comparativa de derivas de piso Edificio Tipo 3 según MEF y MCA

En la tabla 37 y 38 se muestran las comparativas de los valores de esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura según el método de elementos finitos y columna ancha (Cortantes y Momentos Flectores).

Cortante (KN) Sentido X				Cortante (KN) Sentido Y			
Piso	MEF	MCA	Error (%)	Piso	MEF	MCA	Error (%)
40	421.206	407.468	3.26	40	419.475	391.977	6.56
39	272.048	262.642	3.46	39	269.085	251.383	6.58
38	396.442	393.526	0.74	38	403.374	393.948	2.34
37	521.148	521.472	0.06	37	538.714	532.851	1.09
36	642.728	644.800	0.32	36	669.547	665.757	0.57
35	612.474	618.988	1.06	35	638.772	642.155	0.53
34	682.808	688.634	0.85	34	714.178	718.752	0.64
33	701.544	706.008	0.64	33	734.140	740.310	0.84
32	718.864	716.661	0.31	32	749.447	753.818	0.58
31	775.690	770.942	0.61	31	809.463	810.692	0.15
30	623.410	686.537	10.13	30	674.356	724.466	7.43
29	705.761	757.710	7.36	29	758.373	796.237	4.99
28	743.216	786.160	5.78	28	790.546	823.310	4.14
27	782.054	816.745	4.44	27	824.983	852.314	3.31
26	861.634	893.437	3.69	26	905.293	927.916	2.50
25	755.411	823.005	8.95	25	808.482	853.587	5.58
24	830.645	895.818	7.85	24	885.749	926.494	4.60
23	855.415	917.931	7.31	23	907.854	947.290	4.34
22	880.647	939.865	6.72	22	930.887	968.325	4.02
21	955.289	1012.183	5.96	21	1007.860	1040.273	3.22
20	850.634	942.965	10.85	20	916.541	968.597	5.68
19	931.690	1018.948	9.37	19	1001.110	1046.090	4.49
18	959.853	1044.138	8.78	18	1029.693	1072.104	4.12
17	987.895	1068.043	8.11	17	1058.976	1097.376	3.63
16	1060.838	1138.915	7.36	16	1136.656	1171.181	3.04
15	999.321	1067.898	6.86	15	1071.066	1100.324	2.73
14	1082.461	1143.814	5.67	14	1159.771	1180.357	1.78
13	1124.812	1173.127	4.30	13	1203.817	1212.269	0.70
12	1185.045	1217.140	2.71	12	1265.576	1258.650	0.55
11	1302.103	1315.297	1.01	11	1386.187	1359.513	1.92
10	1292.261	1317.959	1.99	10	1392.409	1361.564	2.22
9	1460.431	1461.457	0.07	9	1563.036	1507.392	3.56
8	1592.712	1573.060	1.23	8	1695.735	1620.507	4.44
7	1742.581	1701.438	2.36	7	1846.480	1750.381	5.20
6	1902.699	1842.956	3.14	6	2006.524	1895.306	5.54
5	1989.054	1919.114	3.52	5	2101.106	1971.112	6.19
4	2186.943	2107.653	3.63	4	2296.678	2162.938	5.82
3	2358.972	2106.719	10.69	3	2465.659	2166.686	12.13
2	2585.207	2273.046	12.07	2	2675.546	2338.122	12.61
1	2639.723	2500.037	5.29	1	2724.757	2575.445	5.48

Tabla 37: Comparativa de Cortantes en los muros Edificio Tipo 3 según MEF y MCA

Momento Flector (KN.m) Sentido X				Momento Flector (KN.m) Sentido Y			
Piso	MEF	MCA	Error (%)	Piso	MEF	MCA	Error (%)
40	1846.038	1998.692	8.27	40	1907.696	1981.499	3.87
39	2938.803	3075.322	4.65	39	2966.767	2997.280	1.03
38	3794.338	3919.173	3.29	38	3765.769	3749.588	0.43
37	4560.827	4658.951	2.15	37	4463.913	4384.099	1.79
36	5271.573	5325.946	1.03	36	5105.093	4949.130	3.06
35	6186.806	6221.539	0.56	35	5973.899	5751.620	3.72
34	7023.152	7044.121	0.30	34	6774.749	6498.242	4.08
33	7791.127	7811.451	0.26	33	7525.095	7211.358	4.17
32	8471.270	8505.511	0.40	32	8204.885	7871.399	4.06
31	9015.197	9045.703	0.34	31	8753.722	8402.732	4.01
30	9526.775	9584.185	0.60	30	9292.999	8941.220	3.79
29	9892.092	9961.674	0.70	29	9689.872	9336.216	3.65
28	10142.758	10233.672	0.90	28	9984.714	9640.260	3.45
27	10338.067	10449.077	1.07	27	10232.698	9899.270	3.26
26	10475.275	10575.806	0.96	26	10420.872	10087.466	3.20
25	10651.542	10763.614	1.05	25	10655.006	10330.761	3.04
24	10793.794	10897.992	0.97	24	10849.529	10527.698	2.97
23	10905.463	11002.923	0.89	23	11010.836	10694.608	2.87
22	11013.553	11104.437	0.83	22	11162.756	10853.890	2.77
21	11152.215	11164.168	0.11	21	11356.823	10970.042	3.41
20	11259.023	11264.627	0.05	20	11500.866	11111.572	3.38
19	11391.554	11394.518	0.03	19	11680.229	11281.042	3.42
18	11526.739	11544.701	0.16	18	11859.590	11474.286	3.25
17	11697.945	11737.467	0.34	17	12073.493	11699.023	3.10
16	11919.183	11975.157	0.47	16	12344.401	11968.308	3.05
15	12095.955	12175.618	0.66	15	12552.392	12172.940	3.02
14	12400.953	12482.701	0.66	14	12901.637	12488.578	3.20
13	12767.758	12816.022	0.38	13	13313.207	12825.812	3.66
12	13264.439	13218.411	0.35	12	13854.796	13226.873	4.53
11	14030.288	13787.434	1.73	11	14666.874	13788.240	5.99
10	14866.150	14411.890	3.06	10	15579.709	14387.496	7.65
9	16261.830	15477.096	4.83	9	17066.430	15414.976	9.68
8	18237.878	17009.342	6.74	8	19134.394	16895.446	11.70
7	20940.531	19168.308	8.46	7	21933.127	18994.155	13.40
6	24443.490	22057.571	9.76	6	25536.857	21827.269	14.53
5	28518.688	25503.542	10.57	5	29755.759	25223.131	15.23
4	33517.606	29871.185	10.88	4	34912.232	29559.918	15.33
3	39353.596	34537.774	12.24	3	40921.061	34226.848	16.36
2	46179.899	40041.347	13.29	2	47898.912	39767.946	16.98
1	56082.304	49166.932	12.33	1	58055.242	49095.206	15.43

Tabla 38: Comparativa de Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo 3 según MEF y MCA

Las tablas 36, 37 y 38 muestran el comportamiento global, esfuerzos cortantes y momentos flectores de la estructura tipo 3 en los sentidos principales X y Y.

En resultados de comportamiento global de la estructura, los períodos correspondientes a los diferentes modos de vibración tienen errores entre 1.05% y 6.35%. La participación de masa tiene errores que oscilan entre el 1% y 6% para los casos que van desde el tercer modo, ya que para los dos primeros modos se intercambian las direcciones de participación.

Los desplazamientos que se muestran en la gráfica 6, para el sentido X y Y, tienen un comportamiento muy similar ya que mantienen una armonía en su forma. El desplazamiento del techo de la edificación tiene un error del 6.51% en el sentido X y un error del 3.19% en el sentido Y.

Las derivas se pueden observar en la gráfica 7, con un comportamiento muy similar, pero con pequeñas variaciones en los primeros pisos de la edificación.

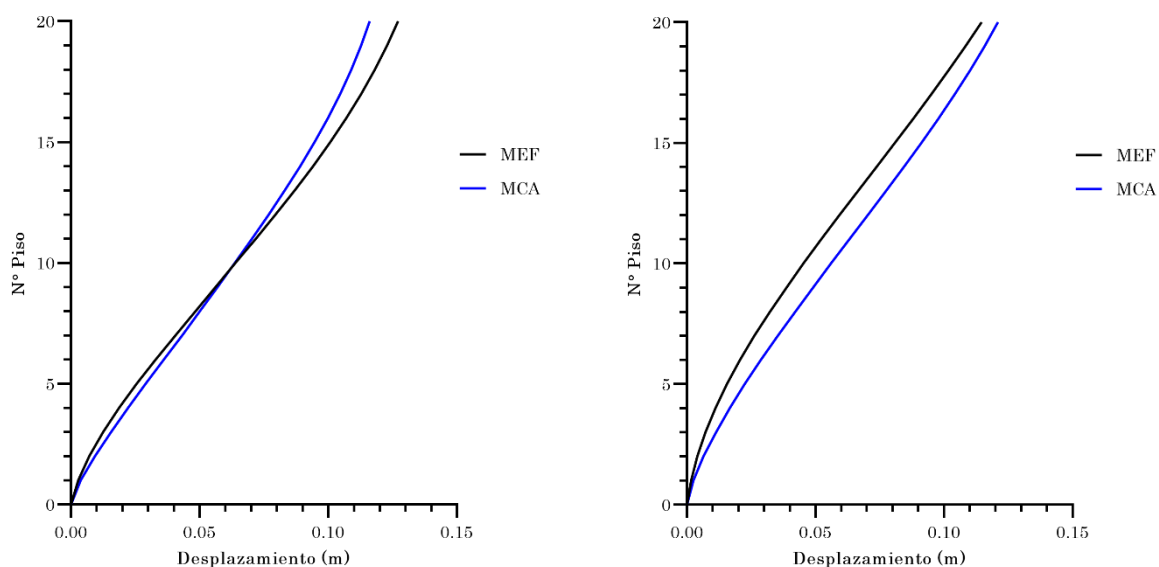
En los resultados de esfuerzos, el cortante en el sentido X y el sentido Y tiene errores entre 1% y 13%, según la variación del piso, con los mayores errores en los pisos 2 y 3. Los momentos flectores en el sentido X producen errores entre 1% y 13%, mientras en el sentido Y entre el 1% y 17%.

4.8.4 Edificio Tipo A1

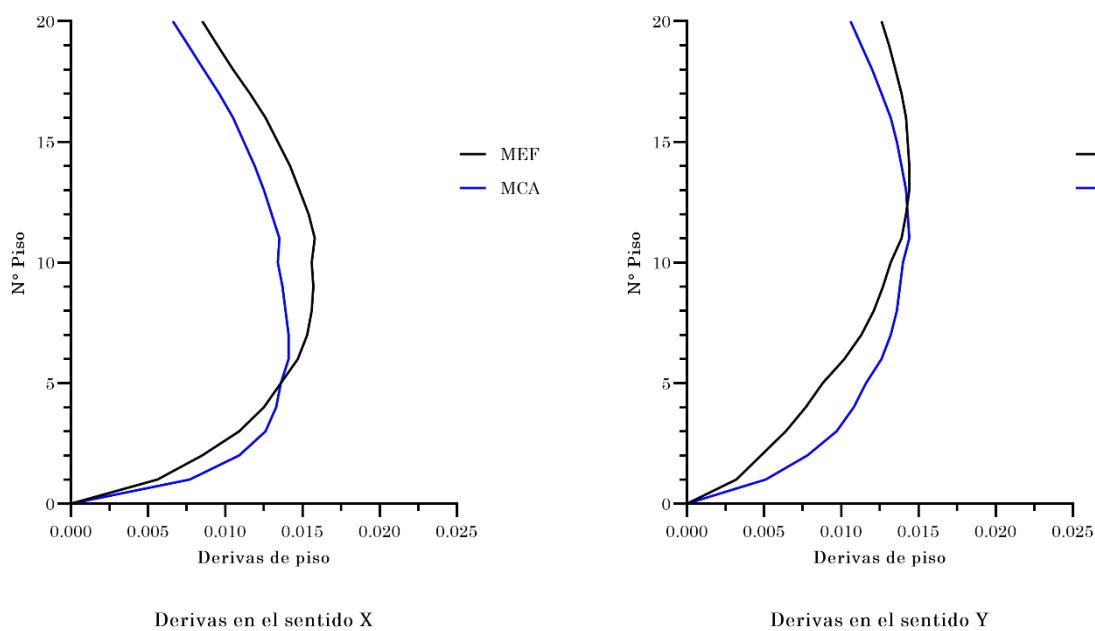
Períodos			
Nº Modo	MEF (seg)	MCA (seg)	Error (%)
1	1.719	1.899	10.47
2	1.714	1.745	1.81
3	1.419	1.568	10.50
4	0.553	0.634	14.65
5	0.536	0.563	5.04
6	0.340	0.422	24.12
7	0.297	0.356	19.87
8	0.276	0.298	7.97

Tabla 39: Comparativa de Períodos Edificio Tipo A1 según MEF y MCA

En las gráficas 8 y 9 se muestran los desplazamientos y derivas de piso del Edificio Tipo A1 según los métodos de elementos finitos (MEF) y columna ancha (MCA).



Gráfica 8: Comparativa de desplazamientos Edificio Tipo A1 según MEF y MCA



Gráfica 9: Comparativa de derivas de piso Edificio Tipo A1 según MEF y MCA

En la tabla 40 y 41 se muestran las comparativas de los valores de esfuerzos de la estructura en el muro a lo largo de su altura según el método de elementos finitos y columna ancha (Cortantes y Momentos Flectores).

Cortante (KN) Sentido X			
Piso	MEF	MCA	Error (%)
20	220.065	167.134	24.05
19	244.327	227.912	6.72
18	357.395	345.645	3.29
17	469.335	458.140	2.39
16	560.601	546.479	2.52
15	610.745	647.386	6.00
14	676.373	717.012	6.01
13	742.668	785.912	5.82
12	802.492	844.843	5.28
11	915.109	938.130	2.52
10	841.015	921.203	9.53
9	965.822	1018.596	5.46
8	1043.317	1083.201	3.82
7	1136.729	1154.720	1.58
6	1240.249	1233.778	0.52
5	1273.059	1273.471	0.03
4	1398.786	1351.891	3.35
3	1531.299	1401.330	8.49
2	1682.556	1394.045	17.15
1	1558.652	1353.584	13.16

Cortante (KN) Sentido Y			
Piso	MEF	MCA	Error (%)
20	810.296	569.100	29.77
19	618.028	568.992	7.93
18	937.348	866.383	7.57
17	1216.255	1127.023	7.34
16	1437.085	1322.526	7.97
15	1580.677	1531.882	3.09
14	1764.768	1693.582	4.03
13	1958.029	1853.247	5.35
12	2146.309	1997.398	6.94
11	2416.356	2225.695	7.89
10	2348.824	2185.522	6.95
9	2669.942	2461.088	7.82
8	2917.014	2657.570	8.89
7	3185.375	2874.142	9.77
6	3410.825	3096.598	9.21
5	3552.526	3229.379	9.10
4	3825.918	3506.294	8.35
3	4125.431	3633.028	11.94
2	4477.250	3904.587	12.79
1	4041.576	3986.879	1.35

Tabla 40: Comparativa de Cortantes en los muros Edificio Tipo A1 según MEF y MCA

Momento Flector (KN.m) Sentido X			
Piso	MEF	MCA	Error (%)
20	370.722	399.109	7.66
19	393.647	316.154	19.69
18	428.228	337.275	21.24
17	470.160	468.585	0.34
16	562.391	622.335	10.66
15	682.650	807.423	18.28
14	786.056	968.784	23.25
13	902.772	1123.725	24.48
12	1028.796	1260.349	22.51
11	1263.202	1471.379	16.48
10	1309.151	1480.053	13.05
9	1420.930	1605.064	12.96
8	1559.864	1726.590	10.69
7	1774.054	1878.447	5.88
6	2148.826	2089.279	2.77
5	2467.825	2269.345	8.04
4	2906.123	2613.413	10.07
3	3548.038	3106.166	12.45
2	4543.859	3755.130	17.36
1	6921.093	6446.578	6.86

Momento Flector (KN.m) Sentido Y			
Piso	MEF	MCA	Error (%)
20	1262.375	2270.792	79.88
19	1581.899	2739.577	73.18
18	2031.265	3025.603	48.95
17	2568.979	3341.827	30.08
16	3244.112	3854.793	18.82
15	3995.442	4522.063	13.18
14	4870.869	5293.980	8.69
13	5878.627	6239.093	6.13
12	7017.294	7337.277	4.56
11	8499.182	8683.045	2.16
10	9888.093	9648.714	2.42
9	11680.976	10979.297	6.01
8	13718.453	12549.521	8.52
7	16055.421	14494.515	9.72
6	18760.317	16913.667	9.84
5	21482.963	19576.612	8.87
4	24656.923	23097.726	6.32
3	28185.791	27167.634	3.61
2	32097.687	32474.566	1.17
1	37692.476	44017.596	16.78

Tabla 41: Comparativa de Momentos Flectores en los muros Edificio Tipo A1 según MEF y MCA

Las tablas 39, 40 y 41 muestran el comportamiento global, esfuerzos cortantes y momentos flectores de la estructura tipo A1 en los sentidos principales X y Y.

En resultados de comportamiento global de la estructura, los períodos correspondientes a los diferentes modos de vibración tienen errores entre 1.81% y 24.12%. La participación de masa varía en todas las direcciones.

En los desplazamientos, para el sentido X y sentido Y como se aprecia en la gráfica 8, tenemos un comportamiento muy similar que mantiene una armonía en su forma, pero con una pequeña separación en su trayectoria. El desplazamiento del techo de la edificación tiene un error del 8.70% en el sentido X y un error del 5.59% en el sentido Y. Las derivas se pueden observar en la gráfica 9, con un comportamiento en forma similar, pero con cambios de pendiente en algunos puntos de la gráfica lo que hace que se produzca una diferencia notoria en trayectorias.

En los resultados de esfuerzos, el cortante en el sentido X tiene errores entre 1% y 24%, según la variación del piso, pero de los cuales los errores mayores al 10% están en los primeros dos pisos y en el último. Para el sentido Y los errores varían entre el 2% y 30%, con los mayores errores en el piso 2, 3 y 20.

Los momentos flectores en el sentido X producen errores entre 1% y 25%, mientras en el sentido Y entre el 1% y 80%, según la variación del piso. Los mayores errores se dan en los últimos 5 pisos.

Según los resultados analizados en las secciones 4.8.1, 4.8.2 y 4.8.3, y comparando las figuras 17 y 20, 18 y 21, 23 y 26, 24 y 27, 29 y 32, 30 y 33, se puede observar que los errores en los modelos con muros aislados son relativamente bajos, lo que hace que el método de columna ancha en este tipo distribución de muros sea considerado aplicable en diversos análisis estructurales.

En los resultados de la sección 4.8.4, se observan los errores en el modelo con muros acoplados en forma de C, los mismos que tienen un incremento de error en los parámetros analizados. Esto se debe a que existe una transferencia de esfuerzos entre las columnas equivalentes y las vigas de rigidez infinita, tal como se aprecia en las figuras 38 y 39.

Cabe mencionar que el análisis aplicado en el Edificio Tipo A1 consideró que el acople entre las vigas de rigidez infinita esté libre de torsión, tal como lo recomienda (Tolga, 2004) para un mejor comportamiento del método de columna ancha en este tipo de muros.

Por lo cual, para aplicar el método de Doble Análisis Lineal (DLA) mediante el método de columna ancha en las siguientes secciones, se utilizarán los tres modelos con distribución de muros aislados, por su bajo error en comparación con el sistema de muros acoplados.

El caso de estudio del Edificio Tipo A1 no se tomará en cuenta para las siguientes secciones.

CAPÍTULO 5

5. APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE DOBLE ANÁLISIS LINEAL

En este capítulo se pretende aplicar el método de Doble Análisis Lineal en los casos de estudio definidos en el capítulo 3 y 4, y a partir de estos resultados obtenidos del análisis, realizar una evaluación mediante dos métodos no lineales: Push-Over y Time History.

Para la evaluación mediante los métodos no lineales se utilizarán los datos de momentos y giros plásticos obtenidos del DLA para definir las rótulas plásticas que se utilizarán en los modelos de Push-Over y Time History. De esta manera los resultados de los 3 métodos podrán ser comparables.

Para los 3 métodos obtendremos algunos indicadores de comparación, lo que facilitará la evaluación y comparación de estos.

5.1 Doble Análisis Lineal (DLA)

Como se describió en la sección 2.4 del estado del conocimiento, el método de Doble Análisis Lineal se define como la superposición de dos análisis lineales aplicados sobre una estructura elástica y una estructura auxiliar.

Los análisis lineales se realizarán mediante un análisis sísmico espectral definido por el espectro de respuesta determinado en la sección 4.1.2. En todos los casos no se aplicará el coeficiente de comportamiento q .

A partir de la obtención de resultados de los dos análisis lineales, se procede a la combinación o superposición de ambas estructuras, con el objetivo de encontrar los parámetros requeridos.

Para estudiar los efectos que tienen los tipos de combinaciones modales en el análisis DLA, en esta sección se aplicará dos casos de combinación, una combinación CQC y una combinación SRSS. Posterior a esto, se realizará una comparativa entre ambos casos para definir si existe una influencia en el método.

Para realizar las evaluaciones del método se decide obtener los siguientes indicadores de comparación: Cortante basal, Desplazamiento en el techo, y para el caso de combinación CQC se obtendrá las rotaciones plásticas de 4 rótulas de vigas (2 en cada dirección) y 2 rótulas de muros (una en cada dirección) por cada edificio.

5.1.1 Modelado de la estructura auxiliar

La estructura auxiliar debe contener una serie de rótulas perfectas donde el diseñador desea que se genere el daño estructural. Por lo cual, para el modelado de las estructuras auxiliares del método DLA en los diferentes casos de estudio se dispondrá de rótulas en todas las vigas y en los muros situados en la base de las edificaciones. La ubicación de las rótulas será el punto medio de la longitud plástica calculada para vigas y muros.

Según (Paulay & Priestley, 1992), la longitud plástica de vigas se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$L_p = 0.08 * L + 0.022 * d_{bl} * f_{yk} [MPa] \quad (12)$$

Donde:

d_{bl} es el diámetro del refuerzo de la sección

L es la longitud de la viga

f_{yk} es el límite de fluencia del refuerzo

Para nuestros casos de estudio con $L=6000\text{mm}$, $f_y=500\text{ N/mm}^2$ y suponiendo un diámetro de refuerzo de 14mm tenemos:

$$L_p = 0.08 * 6000 + 0.022 * 14 * 500 = 634\text{mm}$$

Asumiremos un valor exacto de 60cm . Como la ubicación es el punto medio de la longitud plástica y agregándole la mitad de la sección promedio de columnas (30cm) tendremos que las rótulas en vigas están ubicadas a 60cm del eje de la columna. Esta ubicación se muestra en la figura 40.

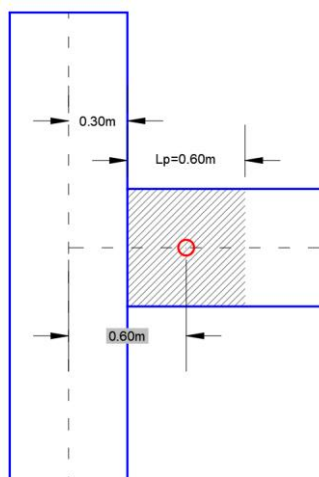


Figura 40: Ubicación de las rótulas en vigas

Para el caso de muros, según (Thomsen & Wallace, 2004), la longitud plástica está entre el 33% y el 50% de la longitud del muro. Para los casos de estudio se tomará el 33%, con una longitud de muros de 6 metros.

$$L_p = 0.33 * 6m = 1.98m$$

Asumiremos un valor exacto de 2m. Como la ubicación es el punto medio de la longitud plástica tendremos que las rótulas se ubicarán a 1m de la base del muro. En la figura 41 se observa la ubicación de la rótula en muros.

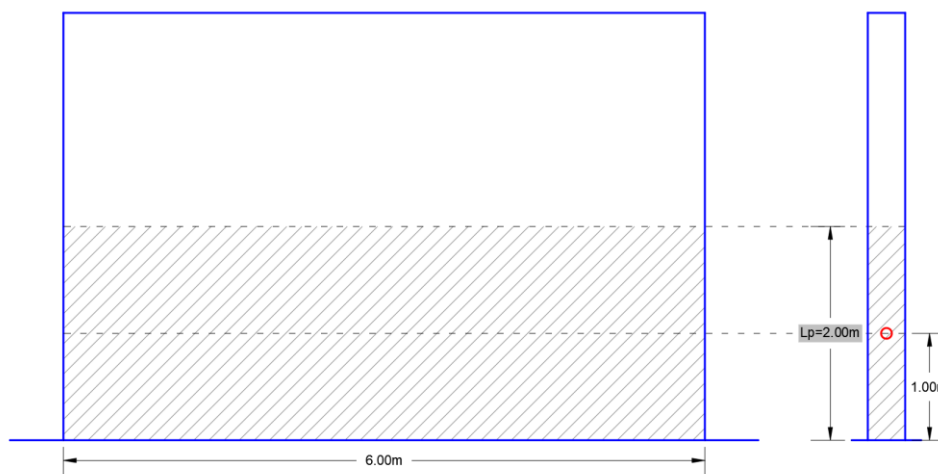


Figura 41: Ubicación de las rótulas en muros

Como dichas rótulas tienen una ubicación específica, se utilizó elementos tipo LINK para definirlos en el software de análisis ETABS (2016). Estos enlaces serán lineales, tendrán una longitud de 1cm y permitirán el giro libre de la rótula.

5.1.2 Edificio Tipo 1

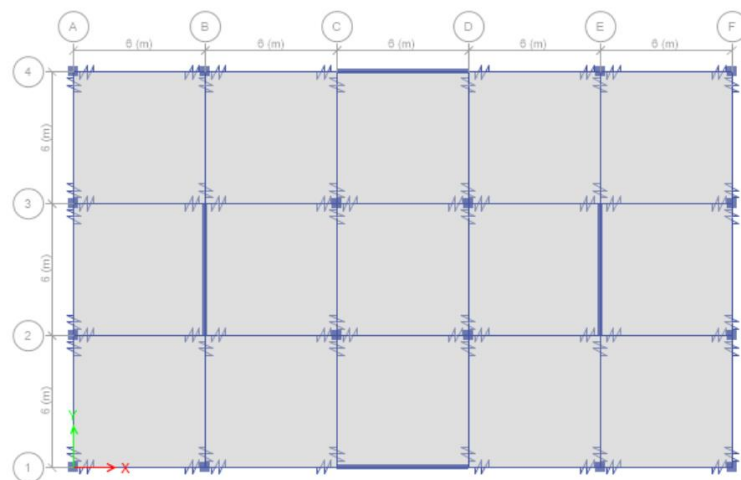


Figura 42: Distribución de rótulas perfectas en planta estructura auxiliar Edificio Tipo 1

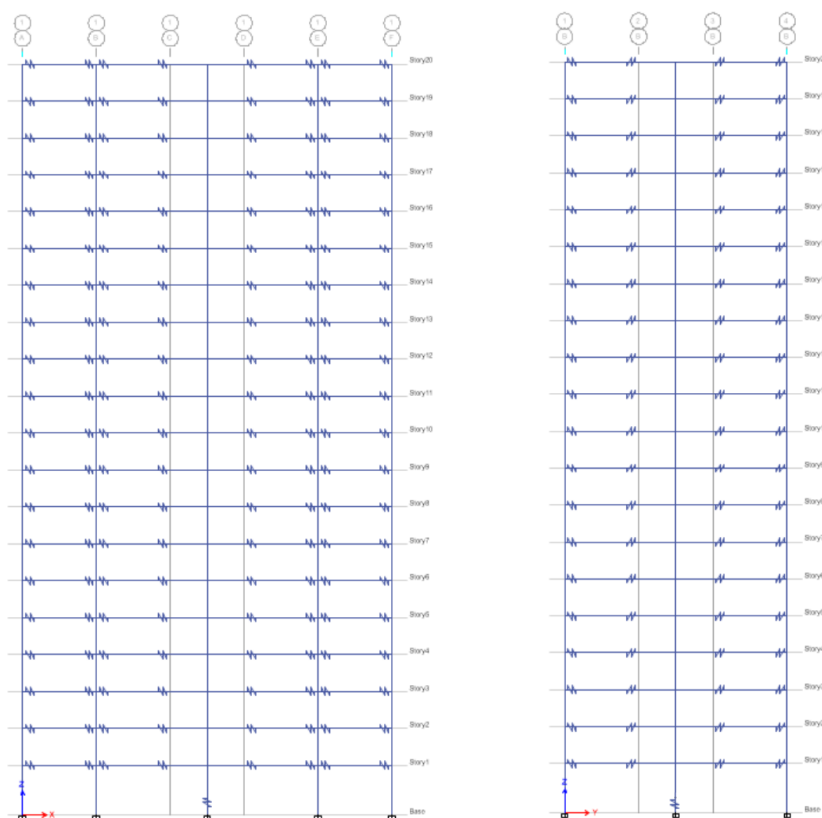


Figura 43: Distribución de rótulas perfectas en elevación estructura auxiliar Edificio Tipo 1

5.1.2.1 Combinación modal CQC

En la tabla 42 se muestra los valores para amortiguamiento del sistema y el factor de corrección de amortiguamiento en función del factor de control α .

Tabla 42: Amortiguamiento del sistema y factor de corrección de amortiguamiento en DLA CQC Edificio Tipo 1

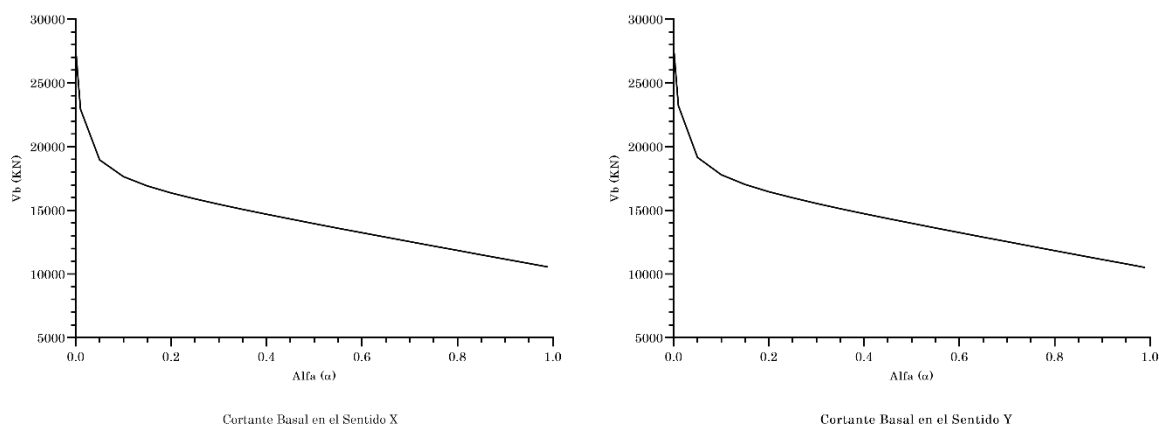
Edificio Tipo 1 (Sentido X)														
α	0.01	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95
ξ_{sys}	0.098	0.160	0.183	0.200	0.203	0.206	0.210	0.212	0.213	0.214	0.215	0.215	0.216	0.216
η	0.821	0.689	0.655	0.633	0.628	0.625	0.621	0.618	0.616	0.615	0.614	0.614	0.613	0.613
Edificio Tipo 1 (Sentido Y)														
α	0.01	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95
ξ_{sys}	0.097	0.159	0.183	0.200	0.204	0.207	0.211	0.213	0.215	0.216	0.217	0.217	0.218	0.218
η	0.825	0.692	0.656	0.633	0.628	0.624	0.619	0.616	0.614	0.613	0.612	0.612	0.611	0.611

La tabla 43 muestra los resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo del método DLA CQC en el caso de estudio del Edificio Tipo 1.

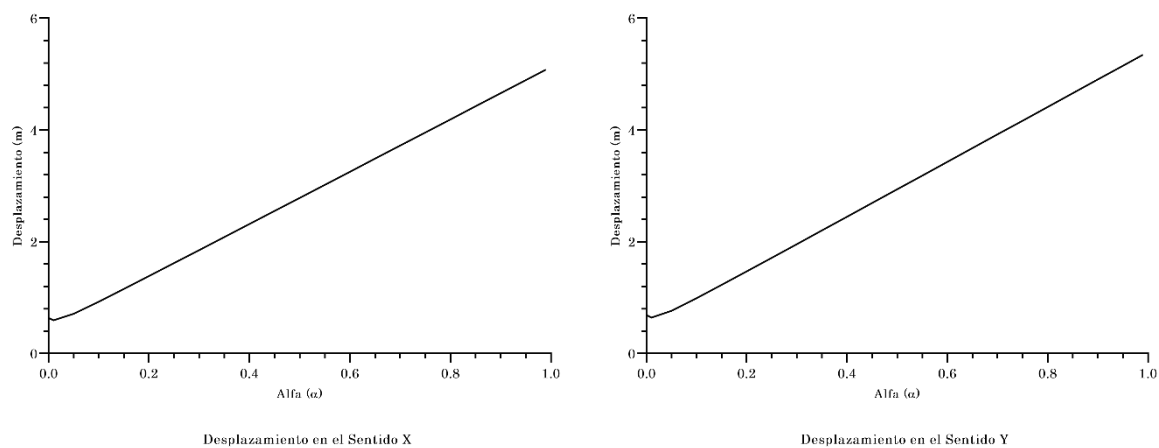
Tabla 43: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método DLA CQC Edificio Tipo 1

DLA (Edificio Tipo 1)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.01	22932.180	0.595	23217.252	0.643
0.05	18958.448	0.712	19163.532	0.765
0.10	17643.497	0.929	17793.387	0.992
0.20	16370.559	1.388	16466.994	1.472
0.25	15903.959	1.620	15983.884	1.716
0.30	15479.459	1.853	15545.976	1.960
0.40	14696.554	2.320	14741.633	2.450
0.50	13959.445	2.787	13987.167	2.941
0.60	13246.036	3.255	13258.700	3.432
0.70	12546.505	3.723	12545.543	3.923
0.75	12200.269	3.957	12192.873	4.169
0.80	11855.819	4.192	11842.184	4.414
0.90	11171.125	4.660	11145.485	4.906
0.95	10830.455	4.894	10799.003	5.151

Las gráficas 10 y 11 muestran el cortante basal y desplazamiento en el techo del Edificio tipo 1 en función de α .



Gráfica 10: Cortante Basal Edificio Tipo 1 según DLA CQC



Gráfica 11: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 1 según DLA CQC

Como se describió en la sección 5.1, se analizará el comportamiento de 6 rótulas (4 en vigas y 2 en muros). Por lo cual la figura 44 muestra la ubicación de dichas rótulas.

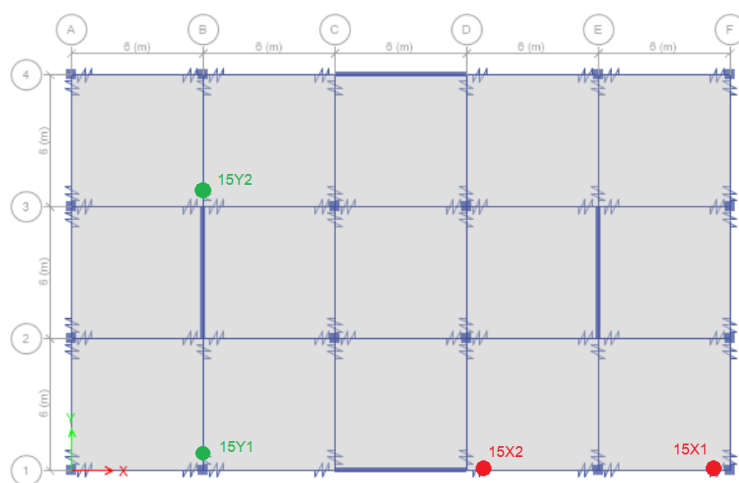


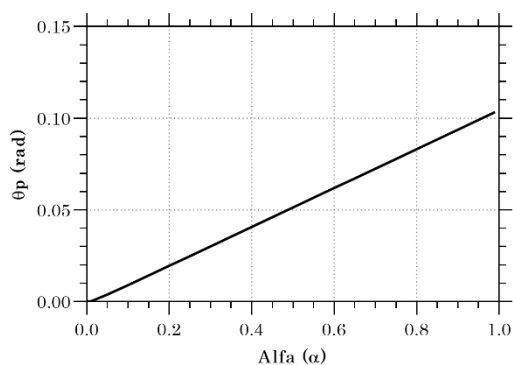
Figura 44: Ubicación de rótulas analizadas en DLA Edificio Tipo 1

La tabla 44 muestra los resultados de giro plástico en las 6 rótulas analizadas con el método DLA en el caso de estudio del Edificio Tipo 1.

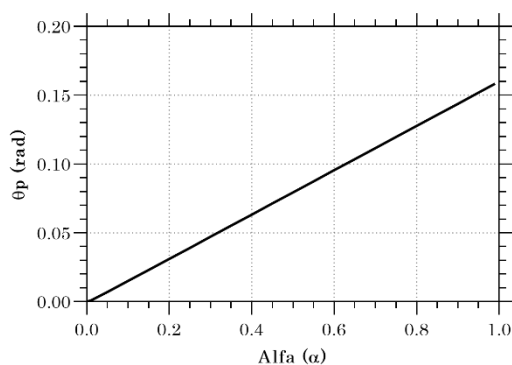
Tabla 44: Resultados de giro plástico en rótulas por método DLA Edificio Tipo 1

DLA (Edificio Tipo 1)						
α	Rótulas en Vigas				Rótulas en Muros	
	Rótula 15X1	Rótula 15X2	Rótula 15Y1	Rótula 15Y2	Rótula M1X	Rótula M1Y
	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)
0.01	0.000166	0.000911	0.001005	0.000999	0.000699	0.000732
0.05	0.003824	0.006953	0.007229	0.007205	0.003674	0.003781
0.10	0.008993	0.014935	0.015395	0.015350	0.007383	0.007564
0.20	0.019526	0.031017	0.031820	0.031733	0.014781	0.015095
0.25	0.024815	0.039071	0.040039	0.039930	0.018476	0.018853
0.30	0.030108	0.047126	0.048258	0.048129	0.022170	0.022609
0.40	0.040703	0.063239	0.064696	0.064525	0.029555	0.030117
0.50	0.051302	0.079352	0.081132	0.080918	0.036937	0.037621
0.60	0.061903	0.095465	0.097565	0.097310	0.044318	0.045123
0.70	0.072504	0.111576	0.113997	0.113699	0.051697	0.052623
0.75	0.077804	0.119632	0.122211	0.121893	0.055386	0.056372
0.80	0.083104	0.127686	0.130426	0.130087	0.059075	0.060121
0.90	0.093705	0.143795	0.146853	0.146472	0.066453	0.067618
0.95	0.099004	0.151849	0.155067	0.154665	0.070141	0.071367

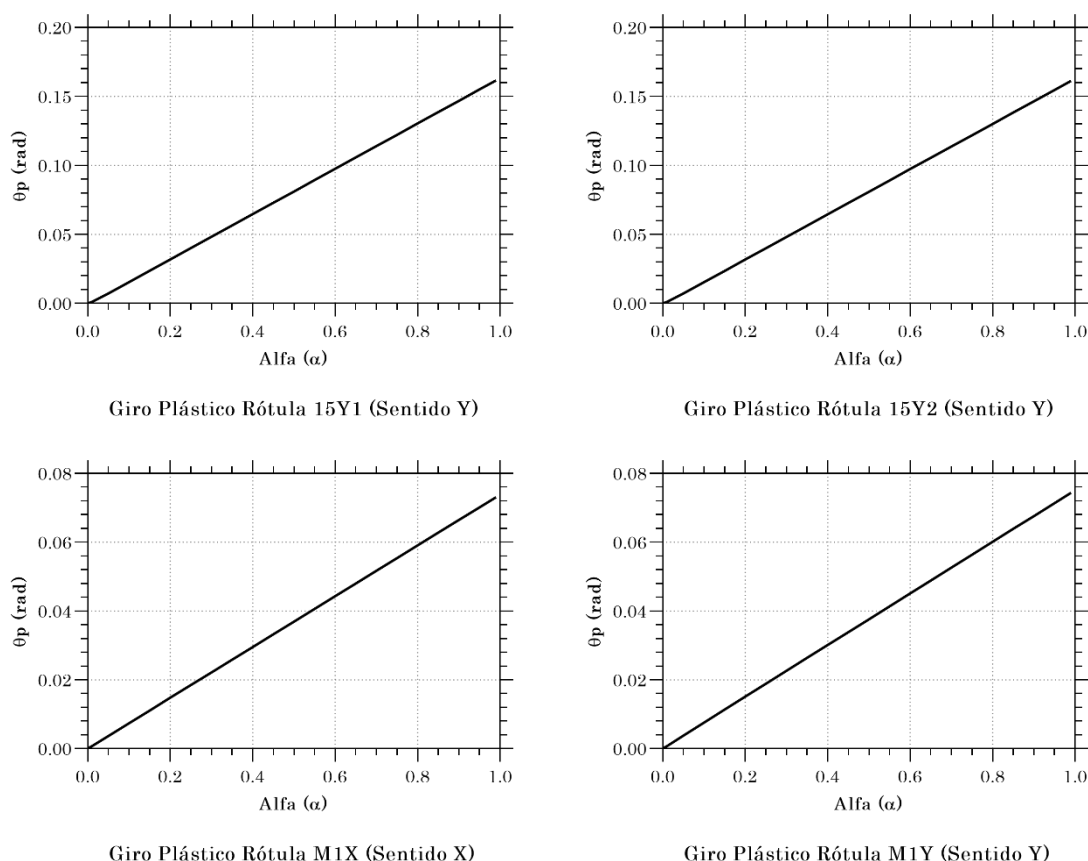
La gráfica 12 muestra el giro plástico de algunas rótulas del Edificio tipo 1 en función de α .



Giro Plástico Rótula 15X1 (Sentido X)



Giro Plástico Rótula 15X2 (Sentido X)



Gráfica 12: Giro Plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 1 según DLA

5.1.2.2 Combinación modal SRSS

En la tabla 45 se muestra los valores para amortiguamiento del sistema y el factor de corrección de amortiguamiento en función del factor de control α .

Tabla 45: Amortiguamiento del sistema y factor de corrección de amortiguamiento en DLA SRSS Edificio Tipo 1

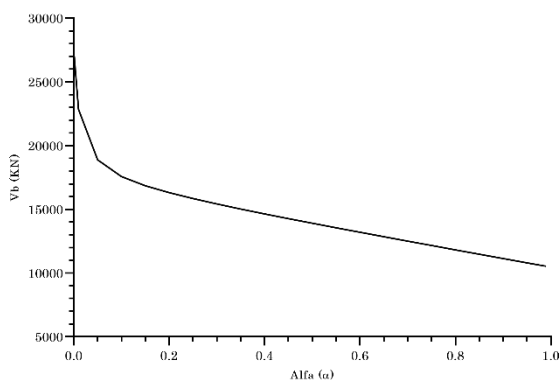
Edificio Tipo 1 (Sentido X)														
α	0.01	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95
ξ_{sys}	0.098	0.160	0.183	0.200	0.203	0.206	0.210	0.212	0.213	0.214	0.215	0.215	0.216	0.216
η	0.821	0.689	0.655	0.633	0.628	0.625	0.621	0.618	0.616	0.615	0.614	0.614	0.613	0.613
Edificio Tipo 1 (Sentido Y)														
α	0.01	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95
ξ_{sys}	0.097	0.159	0.183	0.200	0.204	0.207	0.211	0.213	0.215	0.216	0.217	0.217	0.218	0.218
η	0.825	0.692	0.656	0.633	0.628	0.624	0.619	0.616	0.614	0.613	0.612	0.612	0.611	0.611

La tabla 46 muestra los resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo del método DLA SRSS en el caso de estudio del Edificio Tipo 1.

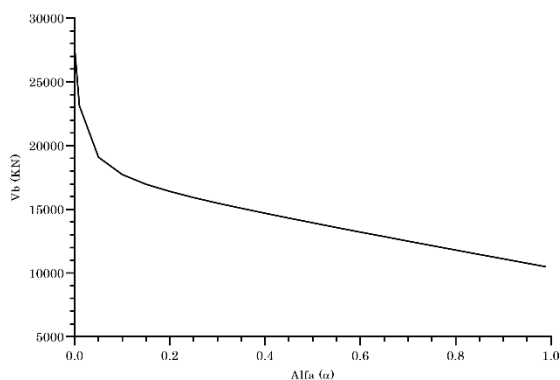
Tabla 46: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método DLA SRSS Edificio Tipo 1

DLA (Edificio Tipo 1)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.01	22843.695	0.595	23132.558	0.644
0.05	18886.007	0.713	19094.463	0.765
0.10	17576.711	0.929	17729.690	0.992
0.20	16310.051	1.388	16409.114	1.473
0.25	15845.990	1.620	15928.348	1.716
0.30	15423.893	1.853	15492.663	1.960
0.40	14645.600	2.320	14692.604	2.450
0.50	13912.990	2.787	13942.335	2.941
0.60	13204.038	3.255	13218.036	3.432
0.70	12508.951	3.723	12509.035	3.923
0.75	12164.935	3.957	12158.441	4.169
0.80	11822.704	4.191	11809.829	4.414
0.90	11142.451	4.660	11117.282	4.906
0.95	10804.002	4.894	10772.877	5.151

Las gráficas 13 y 14 muestran el cortante basal y desplazamiento en el techo del Edificio tipo 1 en función de α .

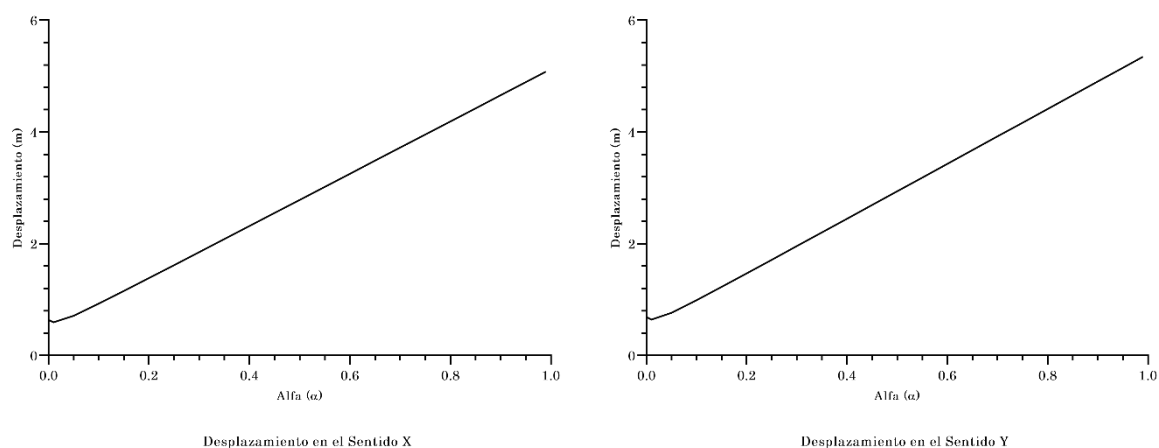


Cortante Basal en el Sentido X



Cortante Basal en el Sentido Y

Gráfica 13: Cortante Basal Edificio Tipo 1 según DLA SRSS



Gráfica 14: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 1 según DLA SRSS

5.1.3 Edificio Tipo 2

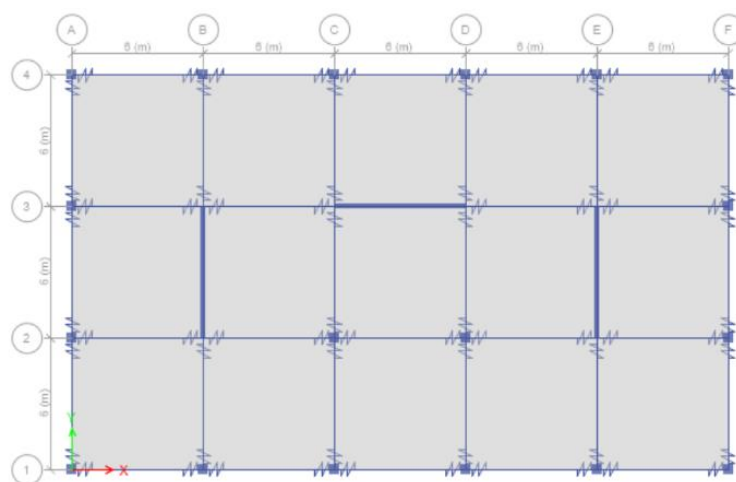


Figura 45: Distribución de rótulas perfectas en planta estructura auxiliar Edificio Tipo 2

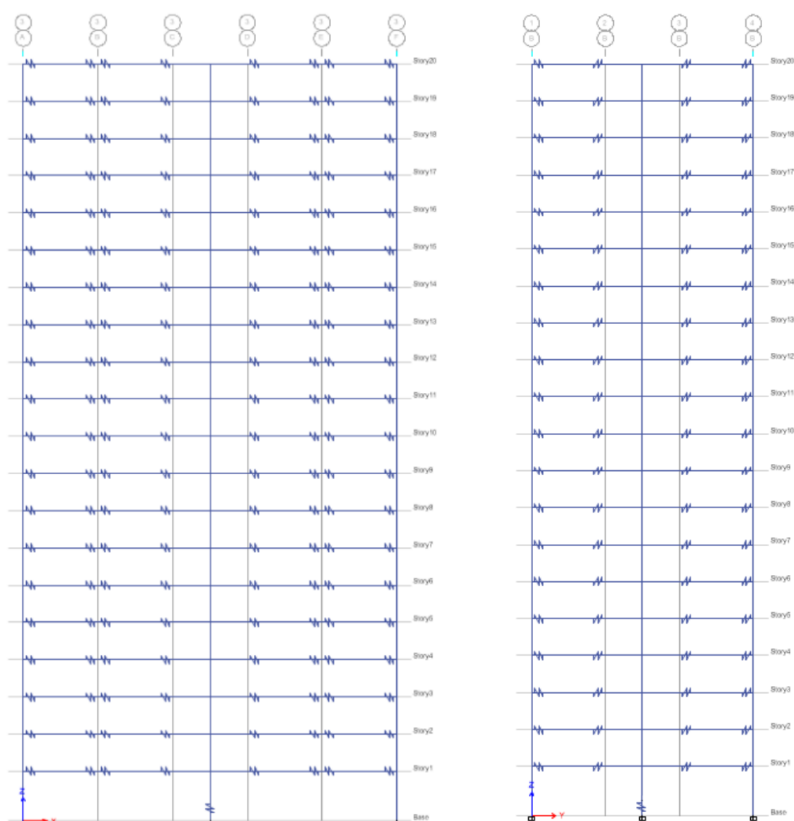


Figura 46: Distribución de rótulas perfectas en elevación estructural auxiliar Edificio Tipo 2

5.1.3.1 Combinación modal CQC

En la tabla 47 se muestra los valores para amortiguamiento del sistema y el factor de corrección de amortiguamiento en función del factor de control α .

Tabla 47: Amortiguamiento del sistema y factor de corrección de amortiguamiento en DLA CQC Edificio Tipo 2

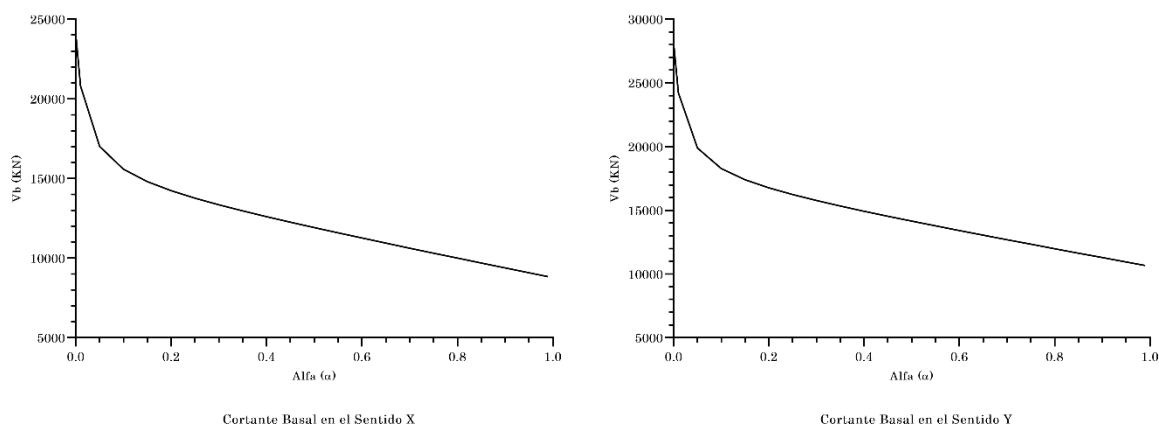
Edificio Tipo 2 (Sentido X)														
α	0.01	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95
ξ_{sys}	0.085	0.145	0.173	0.196	0.201	0.205	0.211	0.214	0.217	0.219	0.219	0.220	0.221	0.222
η	0.861	0.715	0.669	0.638	0.631	0.626	0.619	0.615	0.612	0.610	0.609	0.609	0.607	0.607
Edificio Tipo 2 (Sentido Y)														
α	0.01	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95
ξ_{sys}	0.086	0.146	0.173	0.194	0.199	0.203	0.208	0.212	0.214	0.216	0.216	0.217	0.218	0.219
η	0.856	0.714	0.670	0.640	0.633	0.628	0.622	0.618	0.615	0.613	0.613	0.612	0.611	0.610

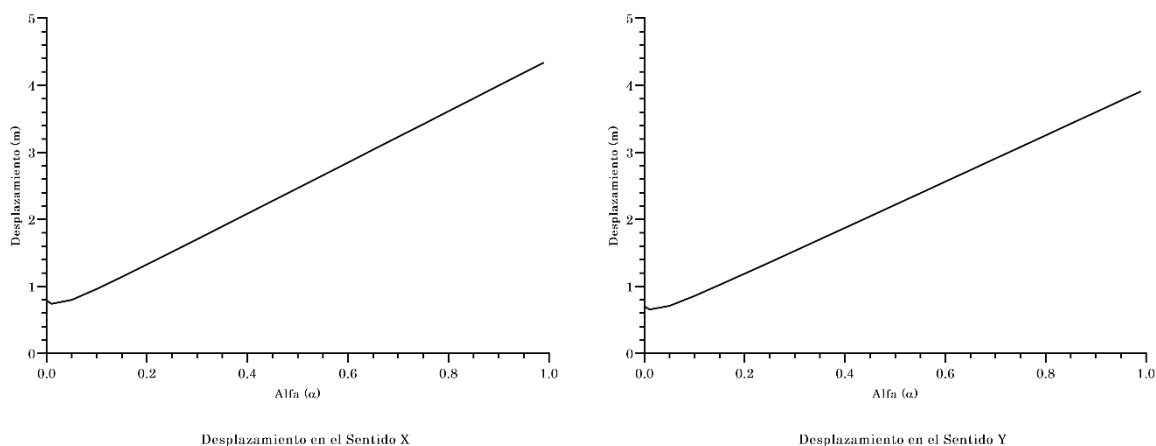
La tabla 48 muestra los resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo del método DLA CQC en el caso de estudio del Edificio Tipo 2.

Tabla 48: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método DLA CQC Edificio Tipo 2

DLA (Edificio Tipo 2)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.01	20804.940	0.743	24218.385	0.657
0.05	17011.628	0.801	19888.964	0.712
0.10	15581.368	0.964	18283.964	0.861
0.20	14236.372	1.330	16770.284	1.192
0.25	13768.077	1.518	16242.277	1.362
0.30	13352.519	1.707	15773.555	1.532
0.40	12605.949	2.087	14931.207	1.875
0.50	11919.183	2.468	14156.031	2.220
0.60	11264.045	2.850	13416.233	2.565
0.70	10627.764	3.232	12697.408	2.910
0.75	10314.483	3.423	12343.370	3.083
0.80	10003.685	3.615	11992.066	3.255
0.90	9387.985	3.997	11295.926	3.601
0.95	9082.504	4.188	10950.444	3.774

Las gráficas 15 y 16 muestran el cortante basal y desplazamiento en el techo del Edificio tipo 2 en función de α .





Gráfica 16: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 2 según DLA CQC

Como se describió en la sección 5.1, se analizará el comportamiento de 6 rótulas (4 en vigas y 2 en muros). Por lo cual la figura 47 muestra la ubicación de dichas rótulas en el caso del edificio tipo 2.

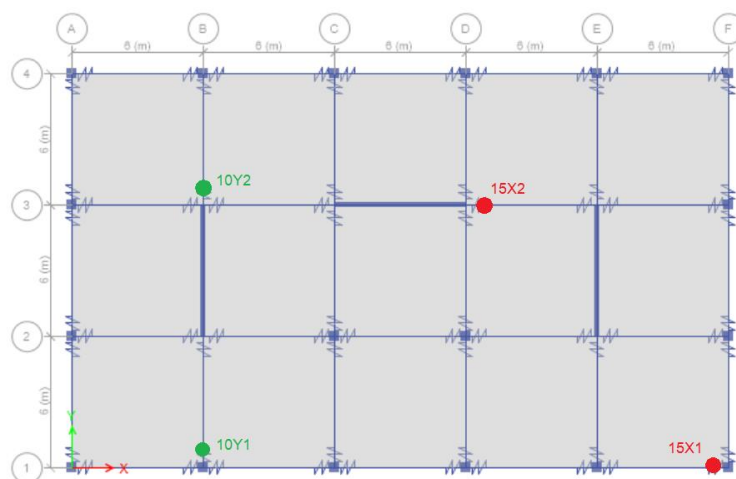


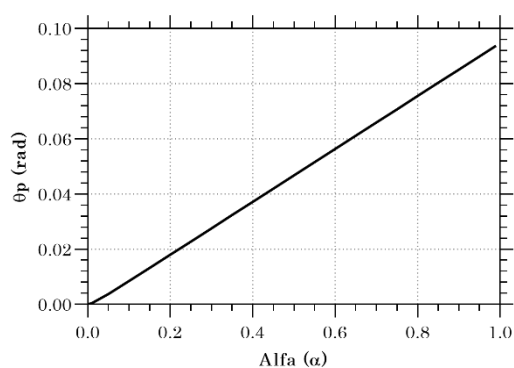
Figura 47: Ubicación de rótulas analizadas en DLA Edificio Tipo 2

La tabla 49 muestra los resultados de giro plásticos en las 6 rótulas analizadas con el método DLA en el caso de estudio del Edificio Tipo 2.

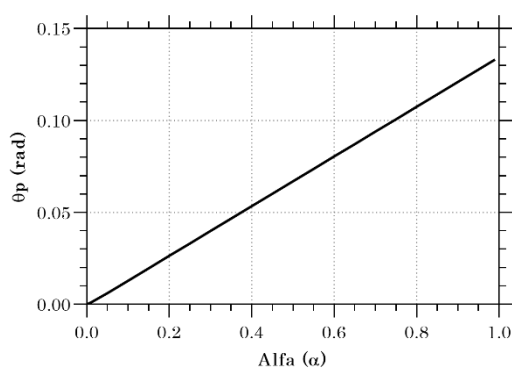
Tabla 49: Resultados de giro plástico en rótulas por método DLA Edificio Tipo 2

DLA (Edificio Tipo 2)						
α	Rótulas en Vigas				Rótulas en Muros	
	Rótula 15X1	Rótula 15X2	Rótula 10Y1	Rótula 10Y2	Rótula M1X	Rótula M1Y
	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)
0.01	0.000399	0.000963	0.000615	0.000614	0.000481	0.000482
0.05	0.003738	0.006083	0.004796	0.004793	0.002488	0.002535
0.10	0.008417	0.012802	0.010455	0.010450	0.004988	0.005098
0.20	0.017964	0.026329	0.021908	0.021897	0.009964	0.010197
0.25	0.022757	0.033096	0.027646	0.027633	0.012446	0.012741
0.30	0.027554	0.039862	0.033387	0.033371	0.014925	0.015282
0.40	0.037151	0.053389	0.044869	0.044849	0.019879	0.020360
0.50	0.046748	0.066909	0.056352	0.056326	0.024828	0.025435
0.60	0.056344	0.080423	0.067832	0.067802	0.029773	0.030508
0.70	0.065936	0.093931	0.079311	0.079276	0.034715	0.035578
0.75	0.070732	0.100683	0.085050	0.085012	0.037186	0.038113
0.80	0.075527	0.107434	0.090788	0.090748	0.039656	0.040647
0.90	0.085115	0.120934	0.102263	0.102218	0.044594	0.045715
0.95	0.089908	0.127682	0.108000	0.107952	0.047063	0.048248

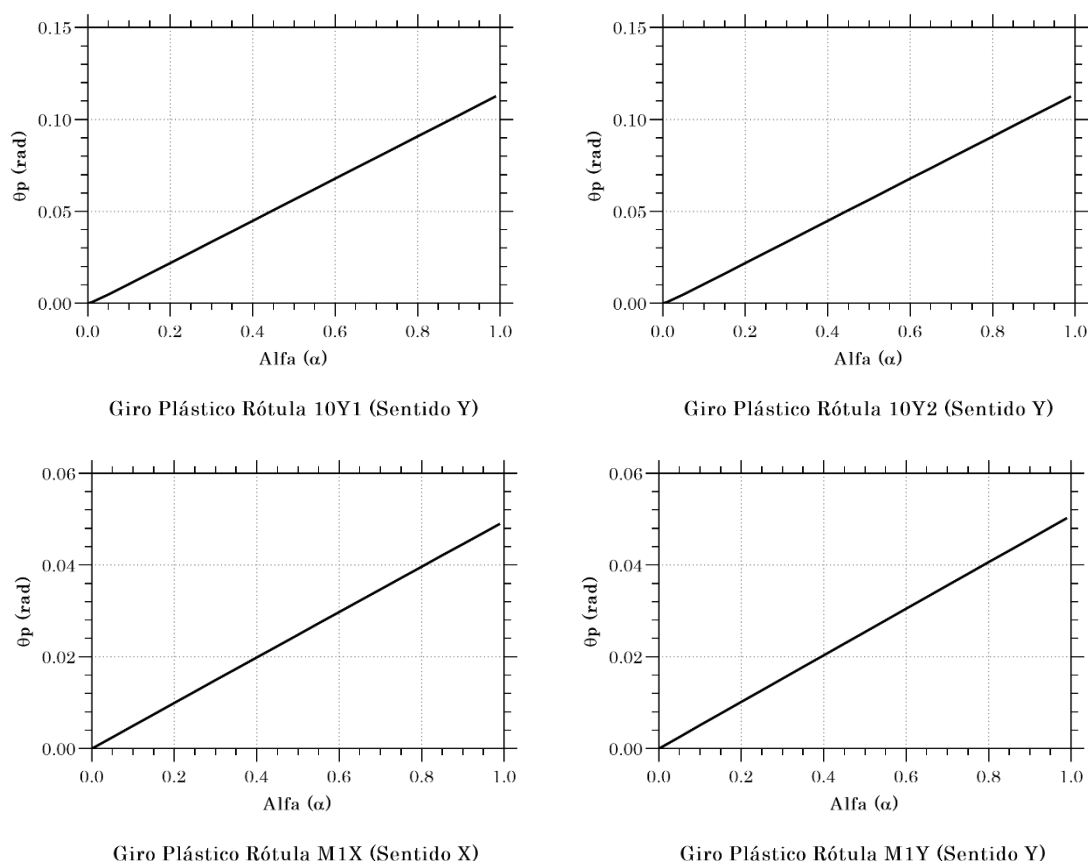
La gráfica 17 muestra el giro plástico de algunas rótulas del Edificio tipo 2 en función de α .



Giro Plástico Rótula 15X1 (Sentido X)



Giro Plástico Rótula 15X2 (Sentido X)



Gráfica 17: Giro Plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 2 según DLA

5.1.3.2 Combinación modal SRSS

En la tabla 50 se muestra los valores para amortiguamiento del sistema y el factor de corrección de amortiguamiento en función del factor de control α .

Tabla 50: Amortiguamiento del sistema y factor de corrección de amortiguamiento en DLA SRSS Edificio Tipo 2

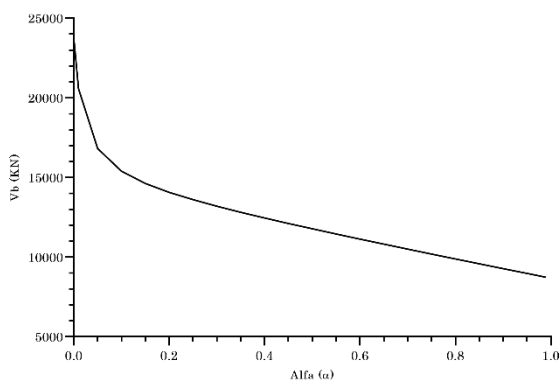
Edificio Tipo 2 (Sentido X)														
α	0.01	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95
ξ_{sys}	0.085	0.145	0.173	0.195	0.201	0.205	0.211	0.214	0.217	0.219	0.219	0.220	0.221	0.222
η	0.861	0.716	0.669	0.638	0.631	0.626	0.619	0.615	0.612	0.610	0.609	0.609	0.607	0.607
Edificio Tipo 2 (Sentido Y)														
α	0.01	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95
ξ_{sys}	0.086	0.146	0.173	0.194	0.199	0.203	0.208	0.212	0.214	0.216	0.216	0.217	0.218	0.219
η	0.856	0.714	0.670	0.640	0.633	0.628	0.622	0.618	0.615	0.613	0.613	0.612	0.611	0.610

La tabla 51 muestra los resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo del método DLA SRSS en el caso de estudio del Edificio Tipo 2.

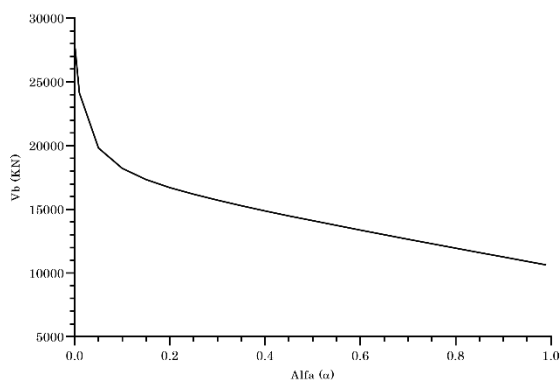
Tabla 51: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método DLA SRSS Edificio Tipo 2

DLA (Edificio Tipo 2)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.01	20565.136	0.749	24128.510	0.657
0.05	16816.367	0.806	19815.506	0.713
0.10	15401.936	0.969	18217.016	0.861
0.20	14071.739	1.333	16710.283	1.192
0.25	13608.664	1.521	16184.933	1.362
0.30	13197.789	1.710	15718.656	1.532
0.40	12459.760	2.090	14880.858	1.876
0.50	11780.989	2.470	14109.993	2.220
0.60	11133.580	2.852	13374.380	2.565
0.70	10504.884	3.234	12659.664	2.910
0.75	10195.362	3.425	12307.662	3.083
0.80	9888.307	3.616	11958.384	3.255
0.90	9280.059	3.998	11266.272	3.601
0.95	8978.290	4.189	10922.794	3.774

Las gráficas 18 y 19 muestran el cortante basal y desplazamiento en el techo del Edificio tipo 2 en función de α .

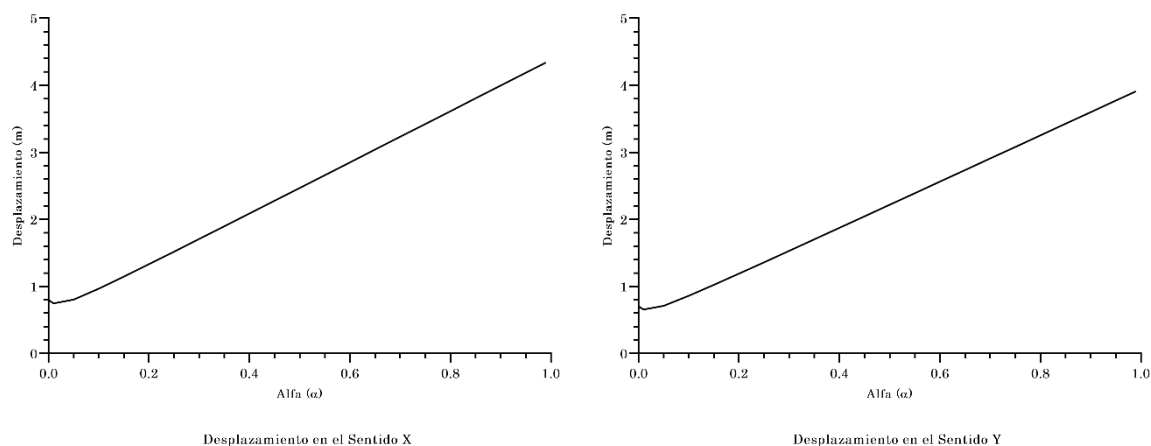


Cortante Basal en el Sentido X



Cortante Basal en el Sentido Y

Gráfica 18: Cortante Basal Edificio Tipo 2 según DLA SRSS



Gráfica 19: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 2 según DLA SRSS

5.1.4 Edificio Tipo 3

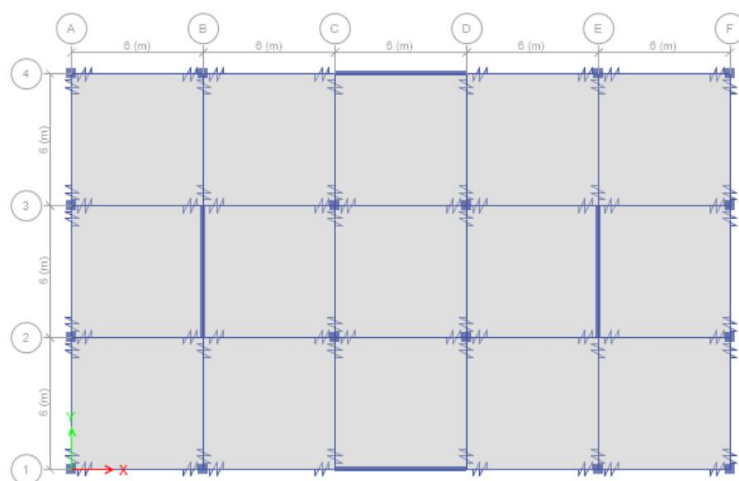


Figura 48: Distribución de rótulas perfectas en planta estructura auxiliar Edificio Tipo 3



Figura 49: Distribución de rótulas perfectas en elevación estructural auxiliar Edificio Tipo 3

5.1.4.1 Combinación modal CQC

En la tabla 52 se muestra los valores para amortiguamiento del sistema y el factor de corrección de amortiguamiento en función del factor de control α .

Tabla 52: Amortiguamiento del sistema y factor de corrección de amortiguamiento en DLA CQC Edificio Tipo 3

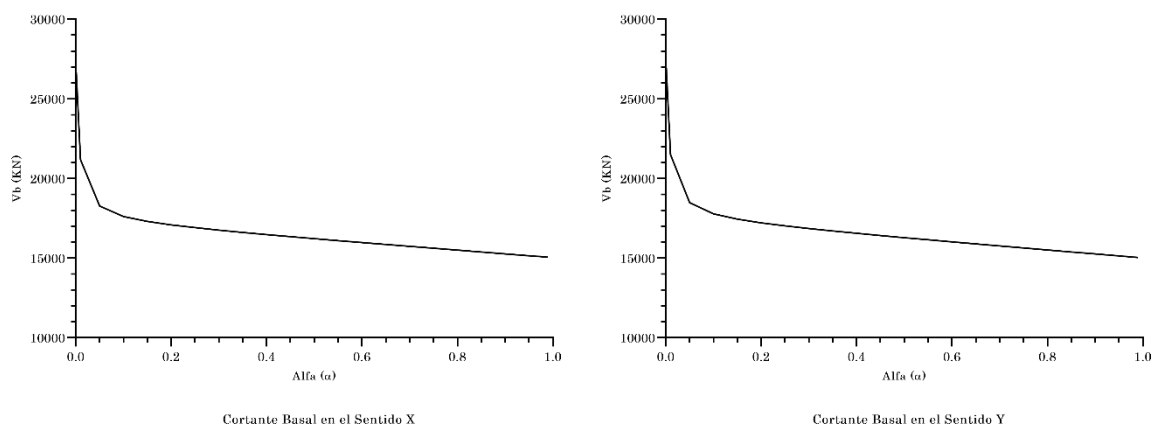
Edificio Tipo 3 (Sentido X)														
α	0.01	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95
ξ_{sys}	0.131	0.191	0.206	0.215	0.217	0.218	0.220	0.221	0.221	0.222	0.222	0.222	0.223	0.223
η	0.743	0.644	0.625	0.615	0.613	0.611	0.609	0.608	0.607	0.607	0.606	0.606	0.606	0.606
Edificio Tipo 3 (Sentido Y)														
α	0.01	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95
ξ_{sys}	0.129	0.189	0.205	0.214	0.217	0.218	0.220	0.221	0.222	0.222	0.223	0.223	0.223	0.223
η	0.748	0.647	0.626	0.615	0.612	0.611	0.609	0.607	0.607	0.606	0.606	0.605	0.605	0.605

La tabla 53 muestra los resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo del método DLA CQC en el caso de estudio del Edificio Tipo 3.

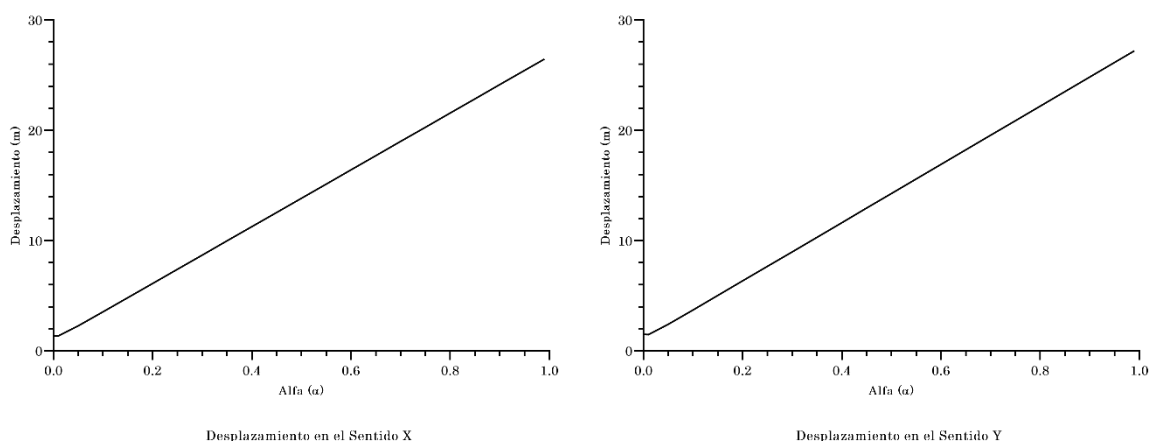
Tabla 53: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método DLA CQC Edificio Tipo 3

DLA (Edificio Tipo 3)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.01	21174.920	1.362	21494.665	1.485
0.05	18273.105	2.283	18487.783	2.419
0.10	17616.245	3.552	17785.407	3.718
0.20	17090.273	6.119	17217.913	6.349
0.25	16914.987	7.405	17028.859	7.668
0.30	16760.175	8.692	16862.138	8.988
0.40	16481.903	11.268	16563.081	11.629
0.50	16224.915	13.844	16287.493	14.271
0.60	15978.758	16.420	16023.912	16.912
0.70	15738.877	18.996	15767.316	19.554
0.75	15620.522	20.284	15640.786	20.875
0.80	15502.965	21.573	15515.149	22.196
0.90	15269.729	24.149	15265.973	24.837
0.95	15153.857	25.437	15142.219	26.158

Las gráficas 20 y 21 muestran el cortante basal y desplazamiento en el techo del Edificio tipo 3 en función de α .



Gráfica 20: Cortante Basal Edificio Tipo 3 según DLA CQC



Gráfica 21: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 3 según DLA CQC

Como se describió en la sección 5.1, se analizará el comportamiento de 6 rótulas (4 en vigas y 2 en muros). Por lo cual la figura 50 muestra la ubicación de dichas rótulas en el caso del edificio tipo 3.

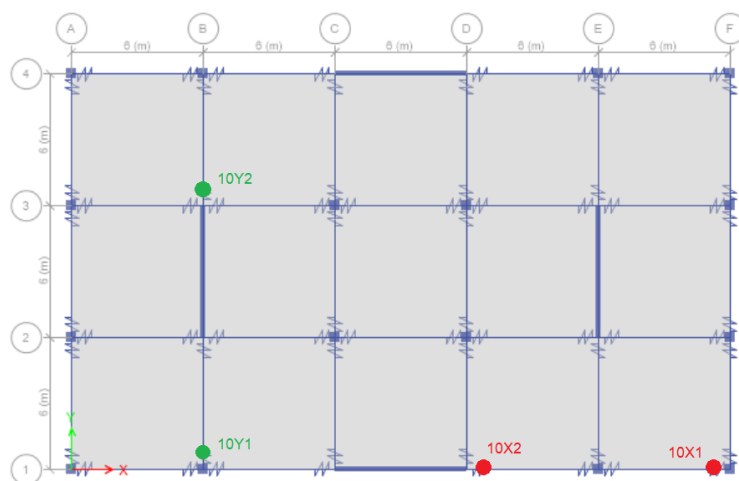


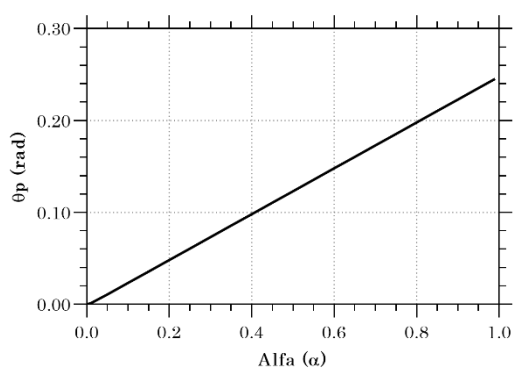
Figura 50: Ubicación de rótulas analizadas en DLA Edificio Tipo 3

La tabla 54 muestra los resultados de giro plásticos en las 6 rótulas analizadas con el método DLA en el caso de estudio del Edificio Tipo 3.

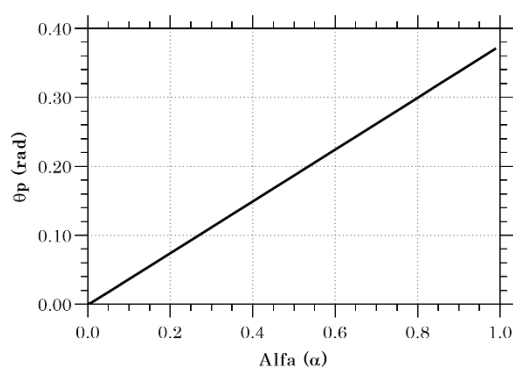
Tabla 54: Resultados de giro plástico en rótulas por método DLA Edificio Tipo 3

DLA (Edificio Tipo 3)						
α	Rótulas en Vigas				Rótulas en Muros	
	Rótula 10X1	Rótula 10X2	Rótula 10Y1	Rótula 10Y2	Rótula M1X	Rótula M1Y
	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)
0.01	0.001251	0.002812	0.002926	0.002925	0.001558	0.001600
0.05	0.010807	0.017576	0.017882	0.017878	0.008026	0.008149
0.10	0.023208	0.036346	0.036849	0.036841	0.016102	0.016307
0.20	0.048119	0.073950	0.074825	0.074808	0.032243	0.032600
0.25	0.060586	0.092757	0.093814	0.093793	0.040312	0.040743
0.30	0.073054	0.111564	0.112802	0.112776	0.048380	0.048884
0.40	0.097992	0.149178	0.150775	0.150741	0.064515	0.065163
0.50	0.122931	0.186790	0.188744	0.188701	0.080647	0.081440
0.60	0.147869	0.224400	0.226709	0.226658	0.096778	0.097715
0.70	0.172806	0.262007	0.264672	0.264613	0.112908	0.113988
0.75	0.185274	0.280810	0.283653	0.283589	0.120972	0.122124
0.80	0.197742	0.299612	0.302633	0.302565	0.129036	0.130260
0.90	0.222678	0.337216	0.340592	0.340516	0.145164	0.146531
0.95	0.235145	0.356017	0.359571	0.359490	0.153227	0.154666

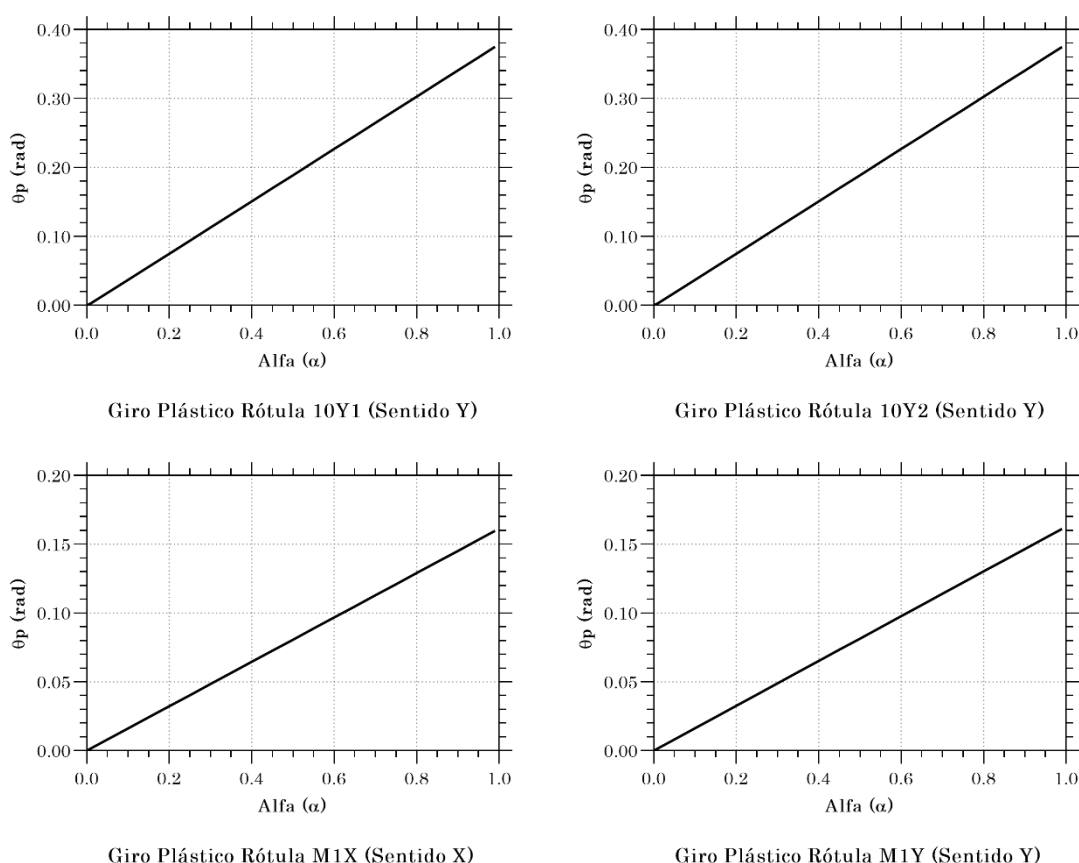
La gráfica 22 muestra el giro plástico de algunas rótulas del Edificio tipo 3 en función de α .



Giro Plástico Rótula 10X1 (Sentido X)



Giro Plástico Rótula 10X2 (Sentido X)



Gráfica 22: Giro Plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 3 según DLA

5.1.4.2 Combinación modal SRSS

En la tabla 55 se muestra los valores para amortiguamiento del sistema y el factor de corrección de amortiguamiento en función del factor de control α .

Tabla 55: Amortiguamiento del sistema y factor de corrección de amortiguamiento en DLA SRSS Edificio Tipo 3

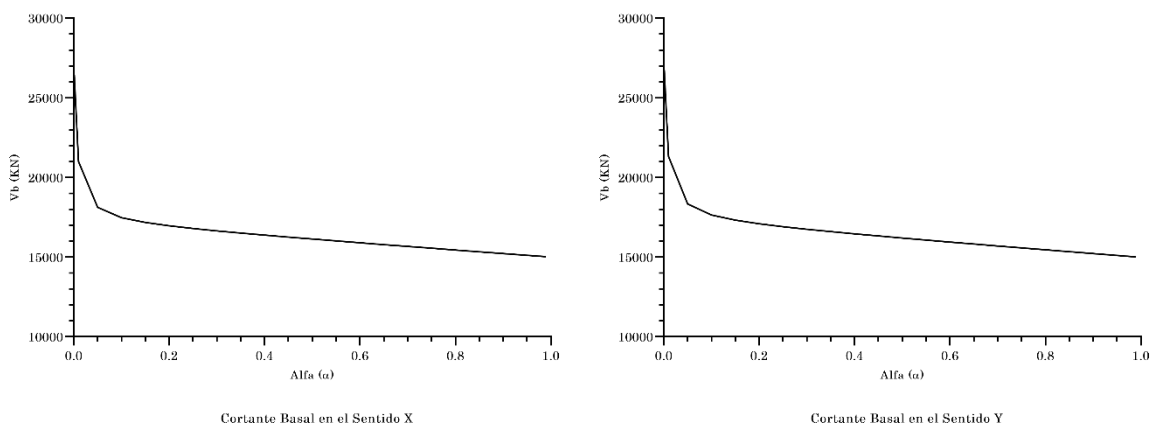
Edificio Tipo 3 (Sentido X)														
α	0.01	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95
ξ_{sys}	0.131	0.191	0.206	0.215	0.217	0.218	0.220	0.221	0.221	0.222	0.222	0.222	0.223	0.223
η	0.743	0.644	0.625	0.615	0.613	0.611	0.609	0.608	0.607	0.607	0.606	0.606	0.606	0.606
Edificio Tipo 3 (Sentido Y)														
α	0.01	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95
ξ_{sys}	0.129	0.189	0.205	0.215	0.217	0.218	0.220	0.221	0.222	0.222	0.223	0.223	0.223	0.223
η	0.748	0.647	0.626	0.615	0.612	0.611	0.609	0.607	0.606	0.606	0.606	0.605	0.605	0.605

La tabla 56 muestra los resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo del método DLA SRSS en el caso de estudio del Edificio Tipo 3.

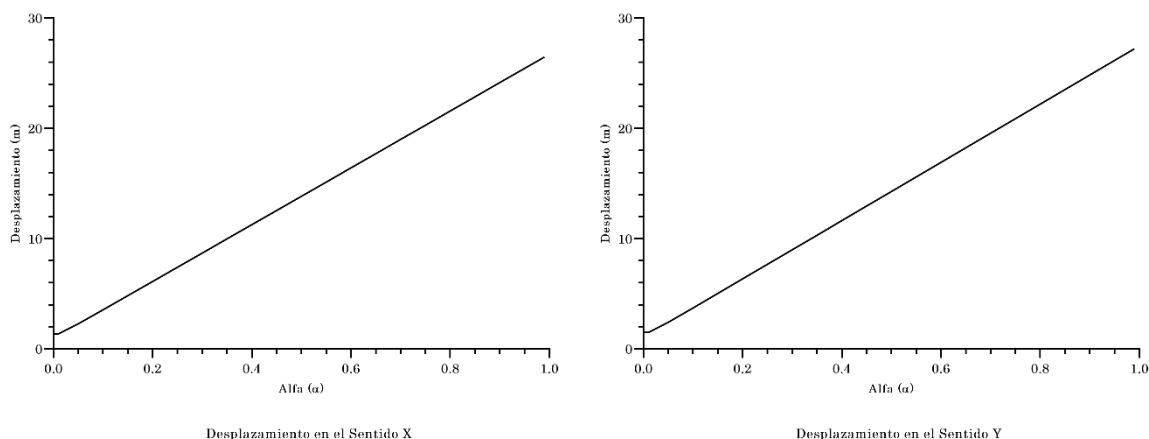
Tabla 56: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método DLA SRSS Edificio Tipo 3

DLA (Edificio Tipo 3)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.01	21002.764	1.363	21321.902	1.486
0.05	18127.889	2.284	18342.535	2.420
0.10	17480.972	3.552	17650.347	3.719
0.20	16968.573	6.119	17096.566	6.350
0.25	16799.368	7.405	16913.613	7.669
0.30	16650.473	8.693	16752.815	8.989
0.40	16383.780	11.268	16465.327	11.629
0.50	16138.200	13.844	16201.121	14.271
0.60	15903.363	16.420	15948.825	16.912
0.70	15674.750	18.996	15703.456	19.554
0.75	15562.017	20.284	15582.526	20.874
0.80	15450.075	21.572	15462.482	22.195
0.90	15228.053	24.148	15224.474	24.837
0.95	15117.782	25.436	15106.297	26.157

Las gráficas 23 y 24 muestran el cortante basal y desplazamiento en el techo del Edificio tipo 2 en función de α .



Gráfica 23: Cortante Basal Edificio Tipo 3 según DLA SRSS



Gráfica 24: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 3 según DLA SRSS

5.1.5 Comparativa entre modelos utilizando combinación modal CQC y SRSS

Uno de los aspectos que se pretende evaluar es el comportamiento del método DLA con diferentes combinaciones modales. Hemos aplicado el método para las dos combinaciones más comunes (CQC y SRSS). Y en esta sección se realizará una comparativa de resultados entre ambas combinaciones, para lo cual se ha decidido comparar dos aspectos, el cortante en la base y los desplazamientos en el techo. Tomaremos los valores de CQC como la óptima para el cálculo del error.

En el anejo 1 y 2 se detallan los resultados del análisis lineal aplicado en la estructura elástica y auxiliar para cada caso de estudio según las combinaciones modales con las cuales se obtuvo el DLA. Y en los anejos 3 y 4 se muestran los resultados de cortantes y desplazamientos por piso obtenidos del DLA según la combinación modal CQC y SRSS.

Tabla 57: Comparativa entre combinación modal CQC y SRSS en método DLA Edificio Tipo 1 Sentido X

EDIFICIO TIPO 1 (Sentido X)						
α	Cortante en la base (KN)			Desplazamiento en el techo (m)		
	DLA (CQC)	DLA (SRSS)	Error (%)	DLA (CQC)	DLA (SRSS)	Error (%)
0.01	22932.180	22843.695	0.39%	0.595	0.595	0.041%
0.05	18958.448	18886.007	0.38%	0.712	0.713	0.029%
0.10	17643.497	17576.711	0.38%	0.929	0.929	0.021%
0.20	16370.559	16310.051	0.37%	1.388	1.388	0.012%
0.25	15903.959	15845.990	0.36%	1.620	1.620	0.009%
0.30	15479.459	15423.893	0.36%	1.853	1.853	0.007%
0.40	14696.554	14645.600	0.35%	2.320	2.320	0.003%
0.50	13959.445	13912.990	0.33%	2.787	2.787	0.001%
0.60	13246.036	13204.038	0.32%	3.255	3.255	-0.001%
0.70	12546.505	12508.951	0.30%	3.723	3.723	-0.002%
0.75	12200.269	12164.935	0.29%	3.957	3.957	-0.003%
0.80	11855.819	11822.704	0.28%	4.192	4.191	-0.003%
0.90	11171.125	11142.451	0.26%	4.660	4.660	-0.004%
0.95	10830.455	10804.002	0.24%	4.894	4.894	-0.004%

Tabla 58: Comparativa entre combinación modal CQC y SRSS en método DLA Edificio Tipo 1 Sentido Y

EDIFICIO TIPO 1 (Sentido Y)						
α	Cortante en la base (KN)			Desplazamiento en el techo (m)		
	DLA (CQC)	DLA (SRSS)	Error (%)	DLA (CQC)	DLA (SRSS)	Error (%)
0.01	23217.252	23132.558	0.36%	0.643	0.644	0.045%
0.05	19163.532	19094.463	0.36%	0.765	0.765	0.035%
0.10	17793.387	17729.690	0.36%	0.992	0.992	0.026%
0.20	16466.994	16409.114	0.35%	1.472	1.473	0.016%
0.25	15983.884	15928.348	0.35%	1.716	1.716	0.013%
0.30	15545.976	15492.663	0.34%	1.960	1.960	0.010%
0.40	14741.633	14692.604	0.33%	2.450	2.450	0.007%
0.50	13987.167	13942.335	0.32%	2.941	2.941	0.004%
0.60	13258.700	13218.036	0.31%	3.432	3.432	0.002%
0.70	12545.543	12509.035	0.29%	3.923	3.923	0.001%
0.75	12192.873	12158.441	0.28%	4.169	4.169	0.001%
0.80	11842.184	11809.829	0.27%	4.414	4.414	0.000%
0.90	11145.485	11117.282	0.25%	4.906	4.906	-0.001%
0.95	10799.003	10772.877	0.24%	5.151	5.151	-0.001%

Tabla 59: Comparativa entre combinación modal CQC y SRSS en método DLA Edificio Tipo 2 Sentido X

EDIFICIO TIPO 2 (Sentido X)						
α	Cortante en la base (KN)			Desplazamiento en el techo (m)		
	DLA (CQC)	DLA (SRSS)	Error (%)	DLA (CQC)	DLA (SRSS)	Error (%)
0.01	20804.940	20565.136	1.15%	0.743	0.749	0.810%
0.05	17011.628	16816.367	1.15%	0.801	0.806	0.612%
0.10	15581.368	15401.936	1.15%	0.964	0.969	0.455%
0.20	14236.372	14071.739	1.16%	1.330	1.333	0.285%
0.25	13768.077	13608.664	1.16%	1.518	1.521	0.234%
0.30	13352.519	13197.789	1.16%	1.707	1.710	0.194%
0.40	12605.949	12459.760	1.16%	2.087	2.090	0.137%
0.50	11919.183	11780.989	1.16%	2.468	2.470	0.097%
0.60	11264.045	11133.580	1.16%	2.850	2.852	0.068%
0.70	10627.764	10504.884	1.16%	3.232	3.234	0.046%
0.75	10314.483	10195.362	1.15%	3.423	3.425	0.037%
0.80	10003.685	9888.307	1.15%	3.615	3.616	0.029%
0.90	9387.985	9280.059	1.15%	3.997	3.998	0.015%
0.95	9082.504	8978.290	1.15%	4.188	4.189	0.008%

Tabla 60: Comparativa entre combinación modal CQC y SRSS en método DLA Edificio Tipo 2 Sentido Y

EDIFICIO TIPO 2 (Sentido Y)						
α	Cortante en la base (KN)			Desplazamiento en el techo (m)		
	DLA (CQC)	DLA (SRSS)	Error (%)	DLA (CQC)	DLA (SRSS)	Error (%)
0.01	24218.385	24128.510	0.37%	0.657	0.657	0.038%
0.05	19888.964	19815.506	0.37%	0.712	0.713	0.029%
0.10	18283.964	18217.016	0.37%	0.861	0.861	0.022%
0.20	16770.284	16710.283	0.36%	1.192	1.192	0.015%
0.25	16242.277	16184.933	0.35%	1.362	1.362	0.013%
0.30	15773.555	15718.656	0.35%	1.532	1.532	0.011%
0.40	14931.207	14880.858	0.34%	1.875	1.876	0.009%
0.50	14156.031	14109.993	0.33%	2.220	2.220	0.007%
0.60	13416.233	13374.380	0.31%	2.565	2.565	0.006%
0.70	12697.408	12659.664	0.30%	2.910	2.910	0.005%
0.75	12343.370	12307.662	0.29%	3.083	3.083	0.005%
0.80	11992.066	11958.384	0.28%	3.255	3.255	0.005%
0.90	11295.926	11266.272	0.26%	3.601	3.601	0.004%
0.95	10950.444	10922.794	0.25%	3.774	3.774	0.004%

Tabla 61: Comparativa entre combinación modal CQC y SRSS en método DLA Edificio Tipo 3 Sentido X

EDIFICIO TIPO 3 (Sentido X)						
α	Cortante en la base (KN)			Desplazamiento en el techo (m)		
	DLA (CQC)	DLA (SRSS)	Error (%)	DLA (CQC)	DLA (SRSS)	Error (%)
0.01	21174.920	21002.764	0.81%	1.362	1.363	0.059%
0.05	18273.105	18127.889	0.79%	2.283	2.284	0.026%
0.10	17616.245	17480.972	0.77%	3.552	3.552	0.014%
0.20	17090.273	16968.573	0.71%	6.119	6.119	0.005%
0.25	16914.987	16799.368	0.68%	7.405	7.405	0.003%
0.30	16760.175	16650.473	0.65%	8.692	8.693	0.001%
0.40	16481.903	16383.780	0.60%	11.268	11.268	-0.001%
0.50	16224.915	16138.200	0.53%	13.844	13.844	-0.002%
0.60	15978.758	15903.363	0.47%	16.420	16.420	-0.003%
0.70	15738.877	15674.750	0.41%	18.996	18.996	-0.003%
0.75	15620.522	15562.017	0.37%	20.284	20.284	-0.004%
0.80	15502.965	15450.075	0.34%	21.573	21.572	-0.004%
0.90	15269.729	15228.053	0.27%	24.149	24.148	-0.004%
0.95	15153.857	15117.782	0.24%	25.437	25.436	-0.004%

Tabla 62: Comparativa entre combinación modal CQC y SRSS en método DLA Edificio Tipo 3 Sentido Y

EDIFICIO TIPO 3 (Sentido Y)						
α	Cortante en la base (KN)			Desplazamiento en el techo (m)		
	DLA (CQC)	DLA (SRSS)	Error (%)	DLA (CQC)	DLA (SRSS)	Error (%)
0.01	21494.665	21321.902	0.80%	1.485	1.486	0.060%
0.05	18487.783	18342.535	0.79%	2.419	2.420	0.028%
0.10	17785.407	17650.347	0.76%	3.718	3.719	0.016%
0.20	17217.913	17096.566	0.70%	6.349	6.350	0.007%
0.25	17028.859	16913.613	0.68%	7.668	7.669	0.004%
0.30	16862.138	16752.815	0.65%	8.988	8.989	0.003%
0.40	16563.081	16465.327	0.59%	11.629	11.629	0.001%
0.50	16287.493	16201.121	0.53%	14.271	14.271	0.000%
0.60	16023.912	15948.825	0.47%	16.912	16.912	-0.001%
0.70	15767.316	15703.456	0.41%	19.554	19.554	-0.002%
0.75	15640.786	15582.526	0.37%	20.875	20.874	-0.002%
0.80	15515.149	15462.482	0.34%	22.196	22.195	-0.002%
0.90	15265.973	15224.474	0.27%	24.837	24.837	-0.003%
0.95	15142.219	15106.297	0.24%	26.158	26.157	-0.003%

En las tablas 57, 58, 59, 60, 61 y 62, se pueden apreciar los resultados de cortante en la base, desplazamientos en el techo y su respectivo error según la combinación modal utilizada en el análisis lineal para cada caso de estudio.

En el Edificio Tipo 1, tenemos para cortante en la base errores entre 0.23% y 0.39% en el sentido X y entre 0.23% y 0.37% en el sentido Y. Para desplazamiento en el techo tenemos errores menores al 0.041% en ambos sentidos.

En el Edificio Tipo 2, tenemos para cortante en la base errores entre 1.15% y 1.17% en el sentido X y entre 0.24% y 0.37% en el sentido Y. Para desplazamiento en el techo tenemos errores menores al 0.86% en el sentido X y menores al 0.039% en el sentido Y.

Y en el Edificio Tipo 3, tenemos para cortante en la base errores entre 0.21% y 0.82% en el sentido X y entre 0.21% y 0.81% en el sentido Y. Para desplazamiento en el techo tenemos errores menores al 0.078% en ambos sentidos.

Interpretando los resultados obtenidos y sus casi nulos errores se puede afirmar que para los casos de estudio analizados la combinación modal (CQC o SRSS) no influye en los resultados del método de Doble Análisis Lineal. Por lo cual para las siguientes secciones de este trabajo se utilizarán los resultados obtenidos del Doble Análisis Lineal con la combinación modal CQC.

5.2 Análisis Estático No Lineal Push-Over

La evaluación del método DLA por análisis estático no lineal Push-Over se realiza en el software ETABS (2016) mediante la definición de casos de carga tipo Non linear Static. Se utiliza dos casos de carga. Un caso para la aplicación de cargas gravitacionales (Peso propio, sobrecarga muerta y carga viva) y otro caso para la aplicación de fuerzas horizontales (Ya sea en el sentido X o Y).

El caso de cargas gravitacionales considera la carga muerta (Peso propio y sobrecarga muerta) de forma completa y la carga viva con un factor de combinación 0.3.

En el caso de cargas horizontales se define que la carga se aplica luego del caso gravitacional, como un modo de vibración de la estructura, verificando un desplazamiento de control por medio de monitorización. Este desplazamiento de monitorización máximo se debe ingresar en función del desplazamiento objetivo.

Obtendremos del análisis Push-Over las curvas de capacidad para cada valor de α y su respectivo punto de desempeño. Para el cálculo del punto de desempeño se utiliza el método propuesto por el código (FEMA 440, 2005) y por el (Eurocódigo 8, 2011).

5.2.1 Definición de Rótulas Plásticas

Las rótulas plásticas se definen por medio de un diagrama de carga-deformación, tal como se muestra en la figura 51.

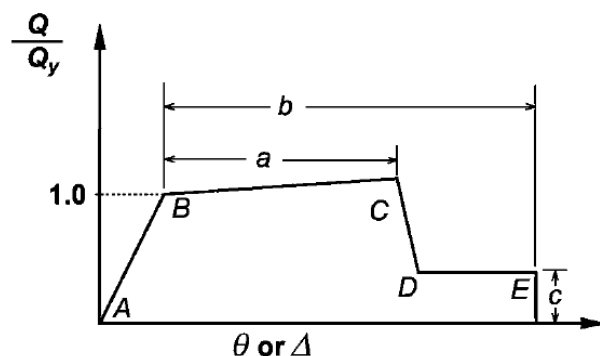


Figura 51: Diagrama Carga-Deformación para rótulas plásticas. (ASCE 41, 2013)

Para evaluar el método de Doble Análisis Lineal hemos definido 2 tipos de rótulas plásticas por dirección y por piso en vigas, y un tipo de rótula plástica para cada dirección de los muros. Estas dos rótulas en vigas se definieron de tal manera que una se ubique en los extremos externos y otra en los extremos internos del sistema de vigas. Un ejemplo de dicha distribución se muestra en la figura 52.

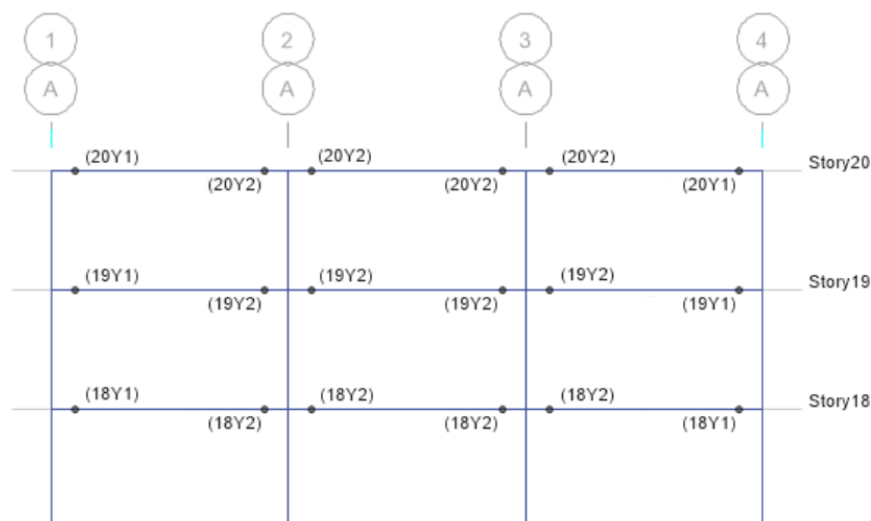


Figura 52: Esquema de distribución de rótulas plásticas en vigas

Para cada rótula tendremos un diagrama de carga-deformación creado en función de los resultados obtenidos del Doble Análisis Lineal. Se ingresará el momento y el giro plástico obtenido según la ubicación de la rótula y el valor de alfa evaluado.

Para definir las rótulas de las vigas se utiliza un tipo de asignación M3 en el software ETABS (2016).

Para definir las rótulas de los muros, al tener una nula influencia de los esfuerzos axiales por carga sísmica y al utilizar el método de columna ancha, se utiliza un igual tipo de rótula que de una viga con una asignación M2 o M3 según el sentido de análisis.

La ubicación de las rótulas plásticas será el mismo que se utilizó en el método de Doble Análisis Lineal. Esto se muestra en las secciones 5.1.2, 5.1.3 y 5.1.4, según el caso de estudio.

5.2.2 Edificio Tipo 1

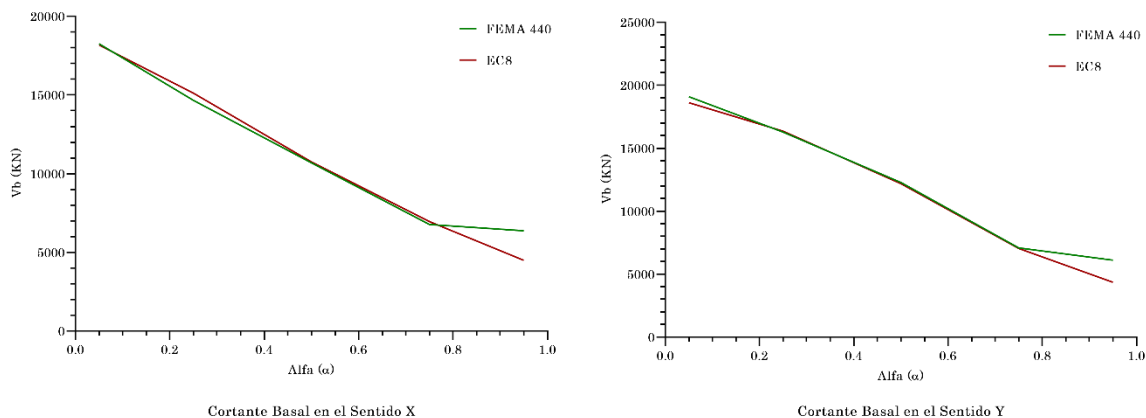
La ubicación de las rótulas del método DLA mostradas en las figuras 42 y 43 será la misma para este caso de evaluación.

La tabla 63 muestra los resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo del método estático no lineal Push-Over en el caso de estudio del Edificio Tipo 1.

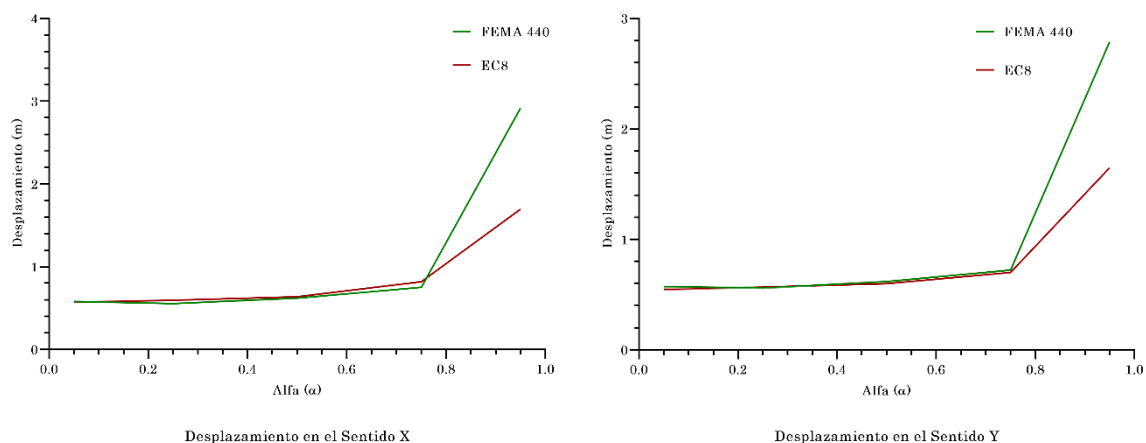
Tabla 63: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método Push-Over Edificio Tipo 1

PUSH-OVER (Edificio Tipo 1)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.05	18252.258	0.579	19092.335	0.574
0.25	14658.689	0.555	16273.041	0.561
0.50	10684.146	0.620	12276.436	0.619
0.75	6766.965	0.751	7082.172	0.723
0.95	6370.374	2.915	6104.529	2.789

Las gráficas 25 y 26 muestran el cortante basal y desplazamiento en el techo del método estático no lineal Push-Over en el Edificio Tipo 1 en función del valor de α .

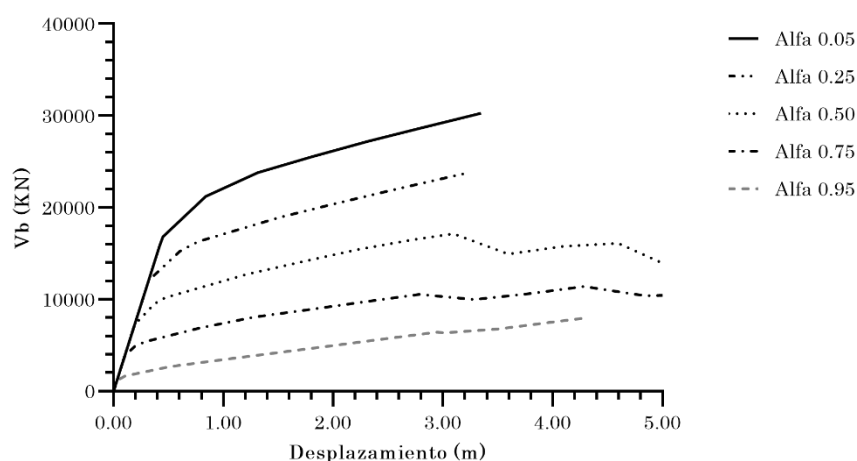


Gráfica 25: Cortante Basal Edificio Tipo 1 según método Push-Over

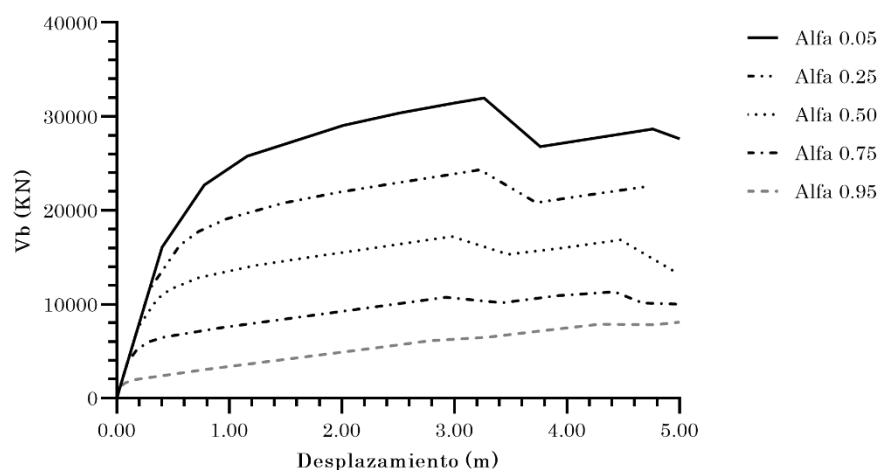


Gráfica 26: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 1 según método Push-Over

Las gráficas 27 y 28 muestran las curvas de capacidad del método estático no lineal Push-Over en el Edificio Tipo 1 en función del valor de α en las direcciones X y Y.



Gráfica 27: Curvas de capacidad del método Push-Over Edificio Tipo 1 Sentido X



Gráfica 28: Curvas de capacidad del método Push-Over Edificio Tipo 1 Sentido Y

5.2.3 Edificio Tipo 2

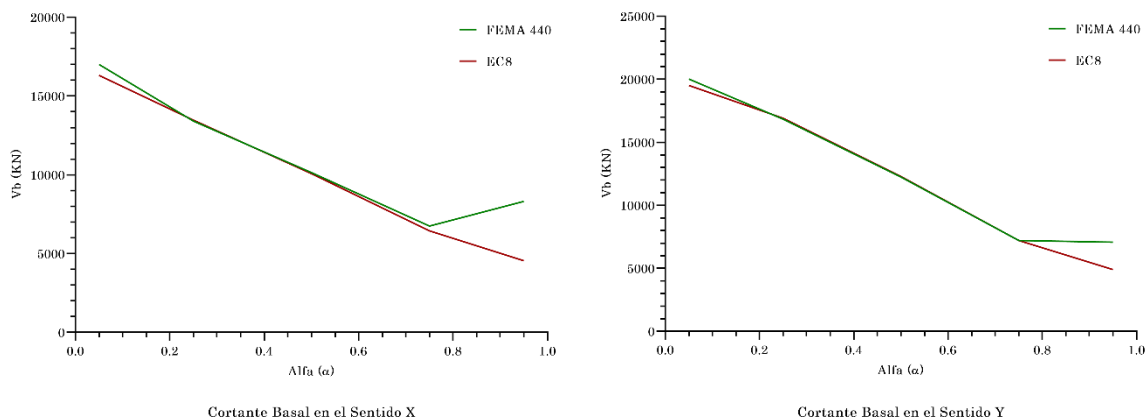
La ubicación de las rótulas del método DLA mostradas en las figuras 45 y 46 será la misma para este caso de evaluación.

La tabla 64 muestra los resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo del método estático no lineal Push-Over en el caso de estudio del Edificio Tipo 2.

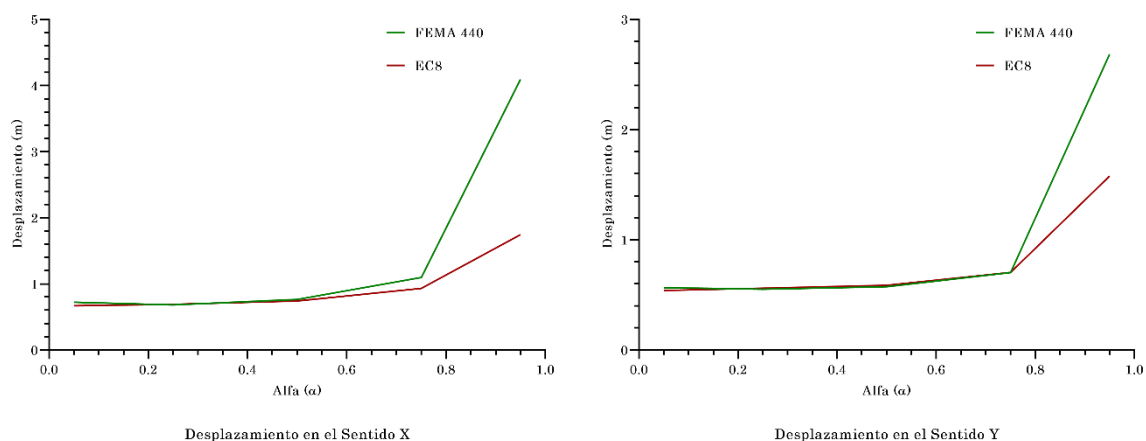
Tabla 64: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método Push-Over Edificio Tipo 2

PUSH-OVER (Edificio Tipo 2)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.05	17009.105	0.722	20019.297	0.566
0.25	13409.381	0.683	16833.475	0.551
0.50	10147.057	0.764	12249.115	0.574
0.75	6746.085	1.097	7212.668	0.703
0.95	8317.856	4.093	7068.777	2.685

Las gráficas 29 y 30 muestran el cortante basal y desplazamiento en el techo del método estático no lineal Push-Over en el Edificio Tipo 2 en función del valor de α .

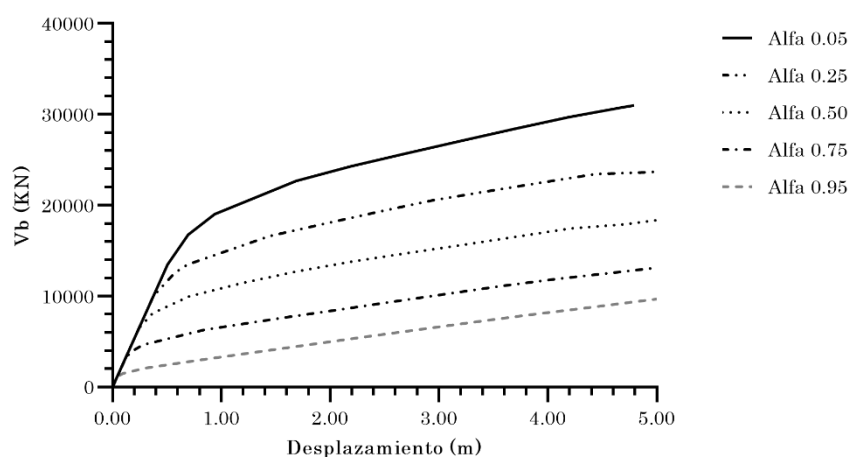


Gráfica 29: Cortante Basal Edificio Tipo 2 según método Push-Over

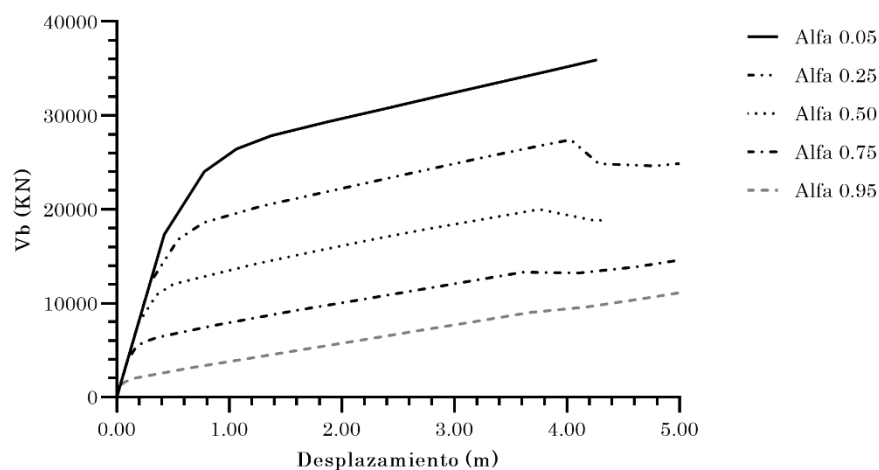


Gráfica 30: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 2 según método Push-Over

Las gráficas 31 y 32 muestran las curvas de capacidad del método estático no lineal Push-Over en el Edificio Tipo 2 en función del valor de α en las direcciones X y Y.



Gráfica 31: Curvas de capacidad del método Push-Over Edificio Tipo 2 Sentido X



Gráfica 32: Curvas de capacidad del método Push-Over Edificio Tipo 2 Sentido Y

5.2.4 Edificio Tipo 3

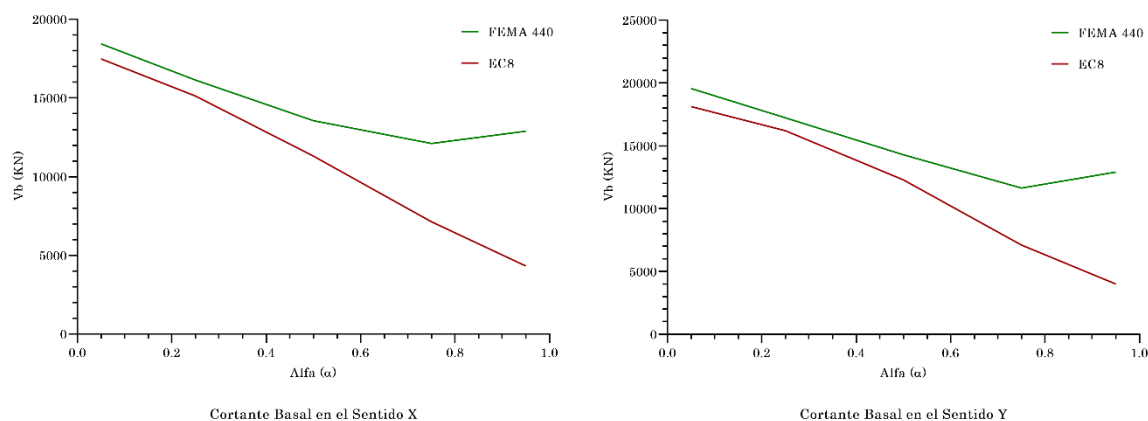
La ubicación de las rótulas del método DLA mostradas en las figuras 48 y 49 será la misma para este caso de evaluación.

La tabla 65 muestra los resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo del método estático no lineal Push-Over en el caso de estudio del Edificio Tipo 3.

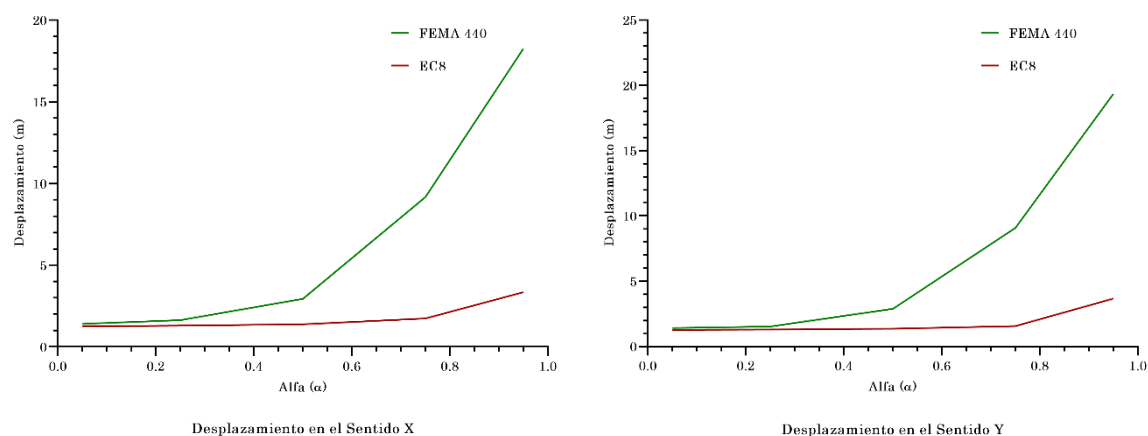
Tabla 65: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método Push-Over Edificio Tipo 3

PUSH-OVER (Edificio Tipo 3)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.05	18435.090	1.412	19563.599	1.412
0.25	16137.074	1.639	17227.912	1.526
0.50	13556.875	2.942	14290.376	2.882
0.75	12107.686	9.173	11638.864	9.087
0.95	12882.086	18.249	12908.720	19.348

Las gráficas 33 y 34 muestran el cortante basal y desplazamiento en el techo del método estático no lineal Push-Over en el Edificio Tipo 3 en función del valor de α .

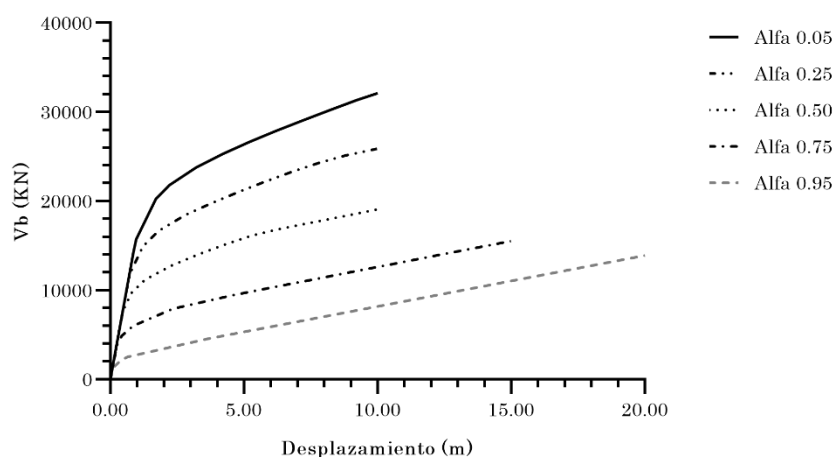


Gráfica 33: Cortante Basal Edificio Tipo 3 según método Push-Over

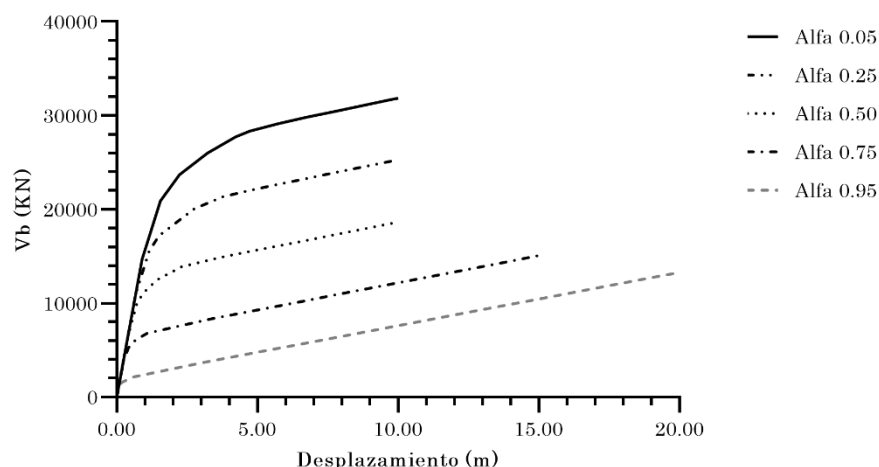


Gráfica 34: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 3 según método Push-Over

Las gráficas 35 y 36 muestran las curvas de capacidad del método estático no lineal Push-Over en el Edificio Tipo 3 en función del valor de α en las direcciones X y Y.



Gráfica 35: Curvas de capacidad del método Push-Over Edificio Tipo 3 Sentido X



Gráfica 36: Curvas de capacidad del método Push-Over Edificio Tipo 3 Sentido Y

5.3 Análisis Dinámico No Lineal Time History

La evaluación del método DLA por análisis dinámico no lineal se realiza en el software ETABS (2016) mediante la definición de casos de carga tipo Time History con método de Integración Directa no lineal. Se utiliza dos casos de carga. Un caso para la aplicación de cargas gravitacionales (Peso propio, sobrecarga muerta y carga viva) y otro caso para la aplicación del acelerograma (Ya sea en el sentido X o Y).

El caso de cargas gravitacionales considera la carga muerta (Peso propio y sobrecarga muerta) de forma completa y la carga viva con un factor de combinación 0.3, y se aplica como una función en forma de rampa con un tiempo de incremento de 1 segundo y un tiempo total de 10 segundos, tal como se muestra en la figura 53.

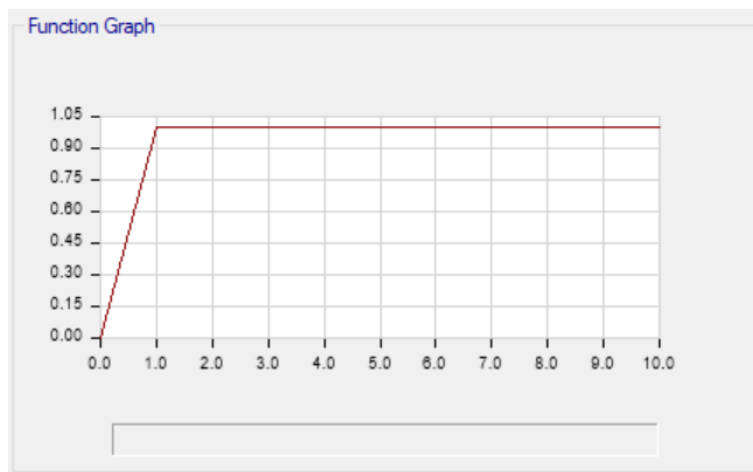


Figura 53: Función rampa para aplicación de carga gravitacional en análisis Time History

En el caso de carga del acelerograma se define que el mismo se debe aplicar luego del caso gravitacional, como una aceleración donde se considera el sismo artificial definido en la sección 5.3.1 y el valor de la gravedad. El número de pasos se define en función del tiempo de duración del evento y el tamaño del paso. Para los casos de estudio se utiliza un evento de 30 segundos de duración con 600 pasos de 0.05 segundos. El amortiguamiento utilizado será el valor entre los períodos principales de vibración y los amortiguamientos entre 5%-7%.

Obtendremos del análisis Time History los valores de cortante basal, desplazamiento en el techo y giros plásticos en 4 rótulas de vigas y 2 rótulas de muros. Estas rótulas serán las mismas que se calcularon mediante Doble Análisis Lineal.

5.3.1 Sismos Artificiales

Para el análisis dinámico no lineal Time History se requiere aplicar un acelerograma dado por algún sismo real o generado de manera artificial a partir de un espectro de respuesta. Para la evaluación del método generaremos un acelerograma a partir del mismo espectro de diseño que se utilizó en el método de Doble Análisis Lineal.

Según el (Eurocódigo 8, 2011) este acelerograma artificial debe cumplir con algunos requisitos, los mismo que se detallan a continuación:

- Debe generarse de forma que coincida con el espectro de respuesta elástica con un 5% de amortiguamiento.
- La duración de los acelerogramas debe ser coherentes con la magnitud y demás características relevantes del sismo.
- Cuando no se disponga de datos específicos, la duración mínima de la parte estacionaria de los acelerogramas debería ser igual a 10 segundos.

Para generar el acelerograma se utilizó un software especializado en esta rama, SeismoArtif (SeismoSoft, 2018). Se define la función de intensidad, la misma que se muestra en la figura 54, que tiene forma trapezoidal y es conocida como función Hou. Esta función tiene una duración total de 18 segundos.

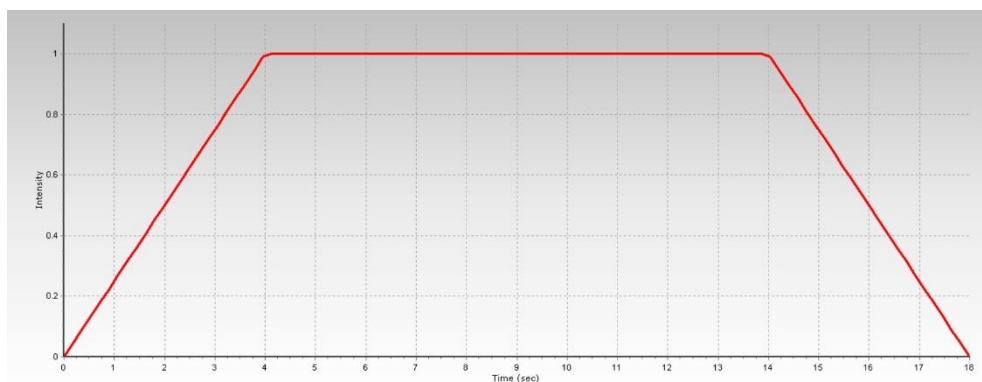
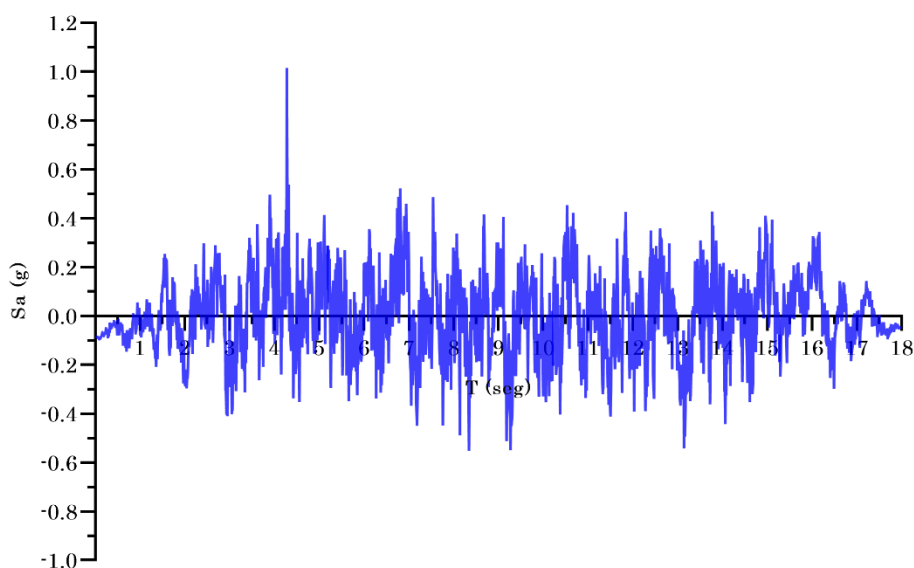


Figura 54: Función de intensidad

Se considera un error medio objetivo del 10% con respecto al espectro de respuesta y un 5% de amortiguamiento. El acelerograma obtenido se muestra en la gráfica 37.



Gráfica 37: Acelerograma Artificial

5.3.2 Definición de Rótulas Plásticas

La definición de rótulas plásticas para el método dinámico no lineal Time History se realiza de la misma manera que en la sección 5.2.1, para el método estático no lineal Push-Over.

5.3.3 Edificio Tipo 1

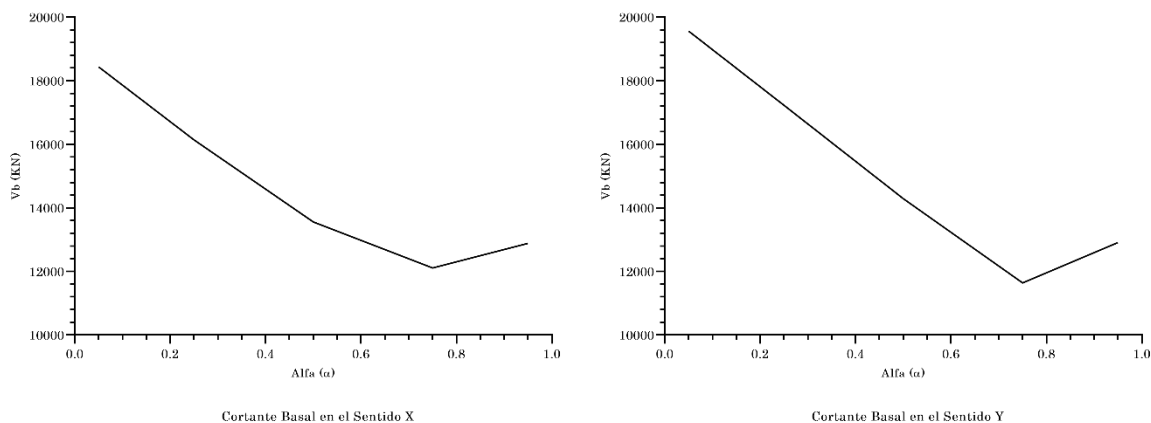
La ubicación de las rótulas plásticas será la misma que se definió para los modelos del método estático no lineal Push-Over y que se muestra en las figuras 42 y 43.

La tabla 66 muestra los resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo del método dinámico no lineal Time History en el caso de estudio del Edificio Tipo 1.

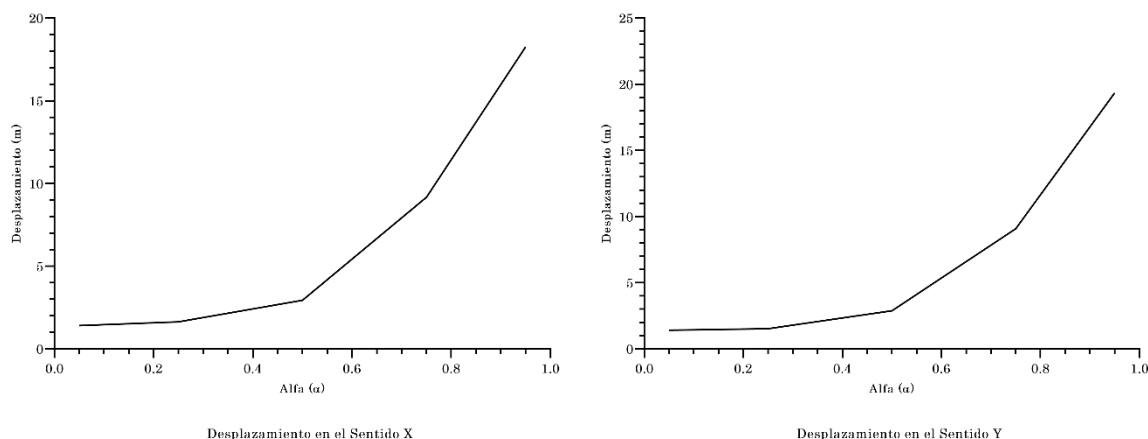
Tabla 66: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método Time History Edificio Tipo 1

TIME HISTORY (Edificio Tipo 1)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.05	21107.164	0.522	20997.782	0.483
0.25	17875.914	0.545	17956.923	0.497
0.50	14632.967	0.675	16637.990	0.588
0.75	13053.152	1.187	12869.954	1.143
0.95	14545.087	3.219	14517.079	3.265

Las gráficas 38 y 39 muestran el cortante basal y desplazamiento en el techo del método dinámico no lineal Time History en el Edificio Tipo 1 en función del valor de α .



Gráfica 38: Cortante Basal Edificio Tipo 1 según método Time History



Gráfica 39: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 1 según método Time History

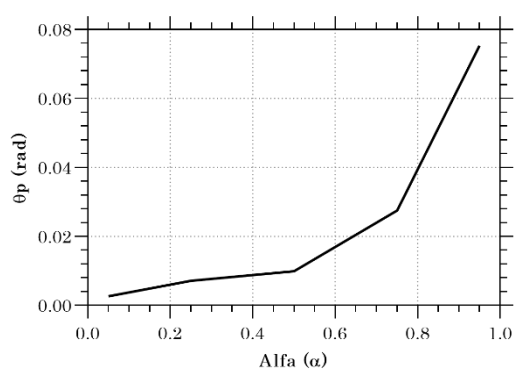
Se obtiene el giro plástico de las mismas 6 rótulas analizadas por el método de Doble Análisis Lineal. Su ubicación se puede apreciar en la figura 44.

La tabla 67 muestra los resultados de giro plásticos en las 6 rótulas analizadas con el método dinámico no lineal Time History en el caso de estudio del Edificio Tipo 1.

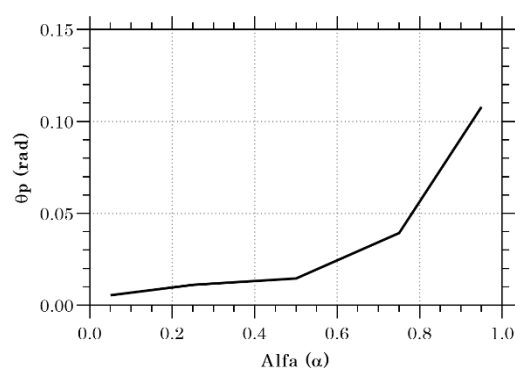
Tabla 67: Resultados de giro plástico en rótulas por método Time History Edificio Tipo 1

TIME HISTORY (Edificio Tipo 1)						
α	Rótulas en Vigas				Rótulas en Muros	
	Rótula 15X1	Rótula 15X2	Rótula 15Y1	Rótula 15Y2	Rótula M1X	Rótula M1Y
	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)
0.05	0.002601	0.005514	0.000791	0.002172	0.001365	0.001699
0.25	0.007104	0.011161	0.006287	0.008482	0.004475	0.004384
0.50	0.009883	0.014648	0.009942	0.011520	0.008881	0.007592
0.75	0.027527	0.039368	0.036169	0.037378	0.015338	0.014817
0.95	0.075267	0.107931	0.110017	0.109102	0.046974	0.047710

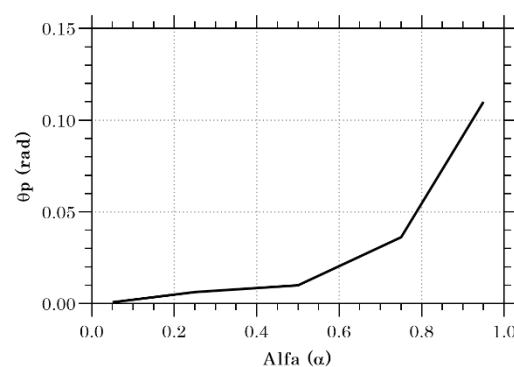
La gráfica 40 muestra el giro plástico de algunas rótulas del método dinámico no lineal Time History en el Edificio Tipo 1 en función del valor de α .



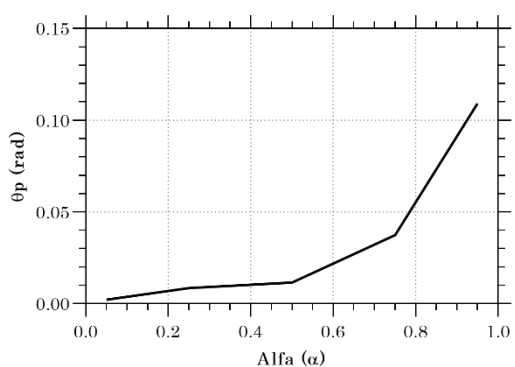
Giro Plástico Rótula 15X1 (Sentido X)



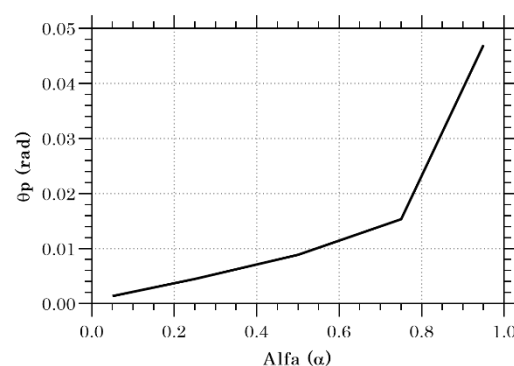
Giro Plástico Rótula 15X2 (Sentido X)



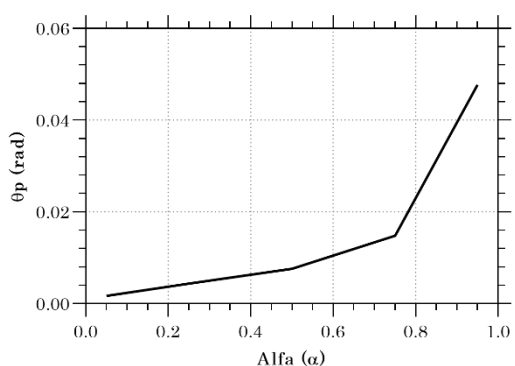
Giro Plástico Rótula 15Y1 (Sentido Y)



Giro Plástico Rótula 15Y2 (Sentido Y)



Giro Plástico Rótula M1X (Sentido X)



Giro Plástico Rótula M1Y (Sentido Y)

Gráfica 40: Giro Plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 1 según método Time History

5.3.4 Edificio Tipo 2

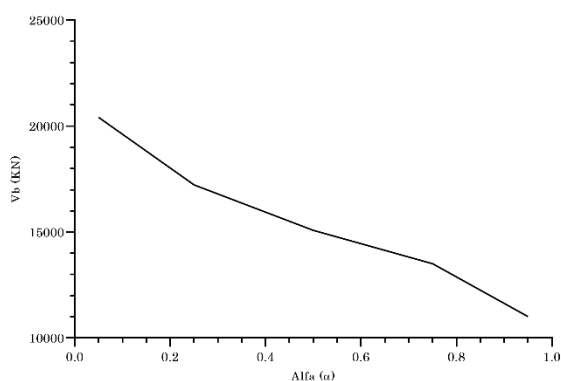
La ubicación de las rótulas plásticas será la misma que se definió para los modelos del método estático no lineal Push-Over y que se muestra en las figuras 45 y 46.

La tabla 68 muestra los resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo del método dinámico no lineal Time History en el caso de estudio del Edificio Tipo 2.

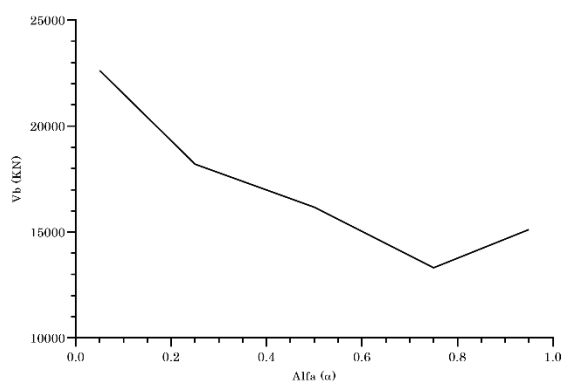
Tabla 68: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método Time History Edificio Tipo 2

TIME HISTORY (Edificio Tipo 2)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.05	20413.268	0.709	22627.000	0.468
0.25	17225.305	0.708	18201.964	0.474
0.50	15080.306	0.825	16174.645	0.567
0.75	13506.106	1.429	13318.332	1.139
0.95	11014.931	3.670	15118.767	3.124

Las gráficas 41 y 42 muestran el cortante basal y desplazamiento en el techo del método dinámico no lineal Time History en el Edificio Tipo 2 en función del valor de α .

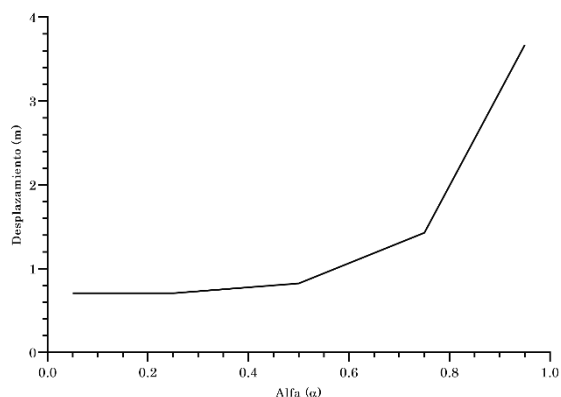


Cortante Basal en el Sentido X

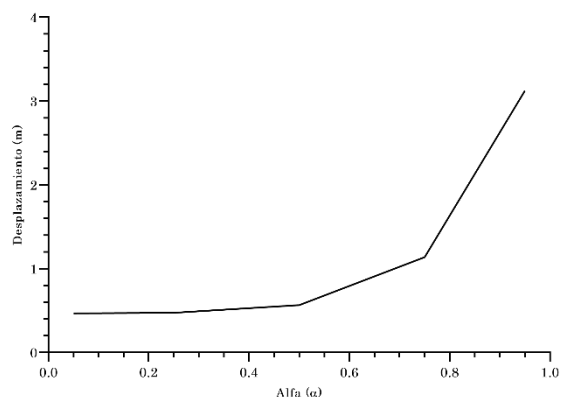


Cortante Basal en el Sentido Y

Gráfica 41: Cortante Basal Edificio Tipo 2 según método Time History



Desplazamiento en el Sentido X



Desplazamiento en el Sentido Y

Gráfica 42: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 2 según método Time History

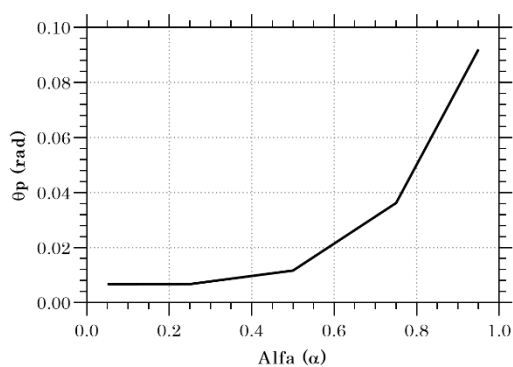
Se obtiene el giro plástico de las mismas 6 rótulas analizadas por el método de Doble Análisis Lineal. Su ubicación se puede apreciar en la figura 47.

La tabla 69 muestra los resultados de giro plásticos en las 6 rótulas analizadas con el método dinámico no lineal Time History en el caso de estudio del Edificio Tipo 2.

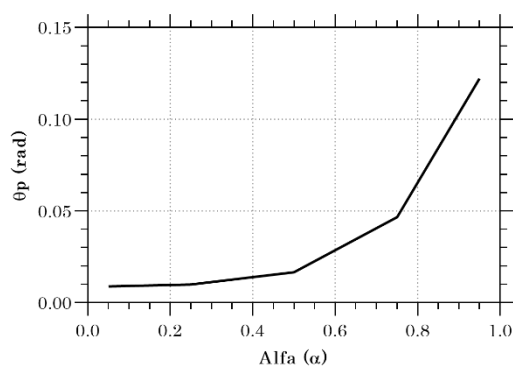
Tabla 69: Resultados de giro plástico en rótulas por método Time History Edificio Tipo 2

TIME HISTORY (Edificio Tipo 2)						
α	Rótulas en Vigas				Rótulas en Muros	
	Rótula 15X1	Rótula 15X2	Rótula 10Y1	Rótula 10Y2	Rótula M1X	Rótula M1Y
	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)
0.05	0.006654	0.008788	0.000950	0.002521	0.002136	0.001267
0.25	0.006714	0.009872	0.003789	0.006880	0.005709	0.003619
0.50	0.011672	0.016538	0.010880	0.013067	0.010560	0.006540
0.75	0.036215	0.046648	0.034169	0.035546	0.016188	0.014286
0.95	0.092023	0.122091	0.104568	0.104176	0.044407	0.043782

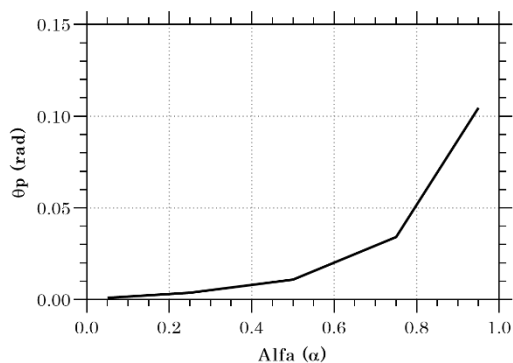
La gráfica 43 muestra el giro plástico de algunas rótulas del método dinámico no lineal Time History en el Edificio Tipo 2 en función del valor de α .



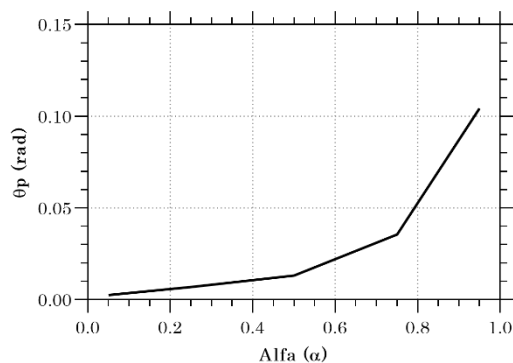
Giro Plástico Rótula 15X1 (Sentido X)



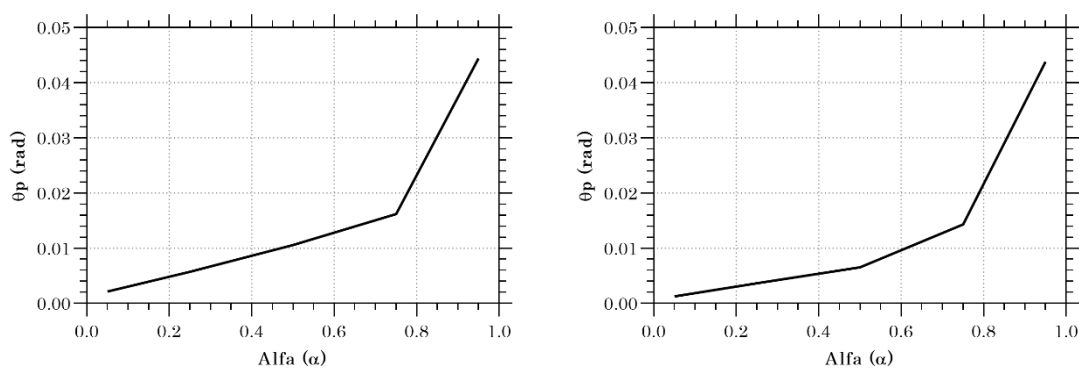
Giro Plástico Rótula 15X2 (Sentido X)



Giro Plástico Rótula 10Y1 (Sentido Y)



Giro Plástico Rótula 10Y2 (Sentido Y)



Giro Plástico Rótula M1X (Sentido X)

Giro Plástico Rótula M1Y (Sentido Y)

Gráfica 43: Giro Plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 2 según método Time History

5.3.5 Edificio Tipo 3

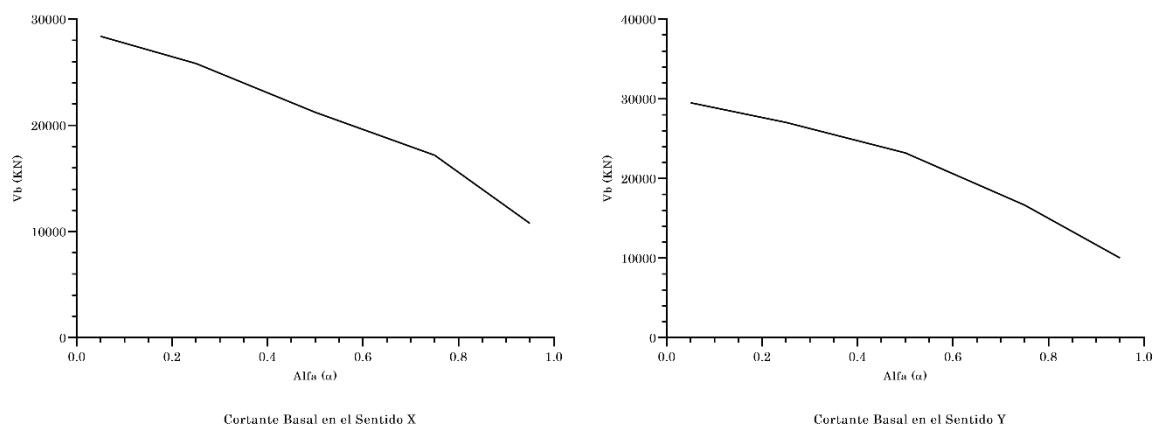
La ubicación de las rótulas plásticas será la misma que se definió para los modelos del método estático no lineal Push-Over y que se muestra en las figuras 48 y 49.

La tabla 70 muestra los resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo del método dinámico no lineal Time History en el caso de estudio del Edificio Tipo 3.

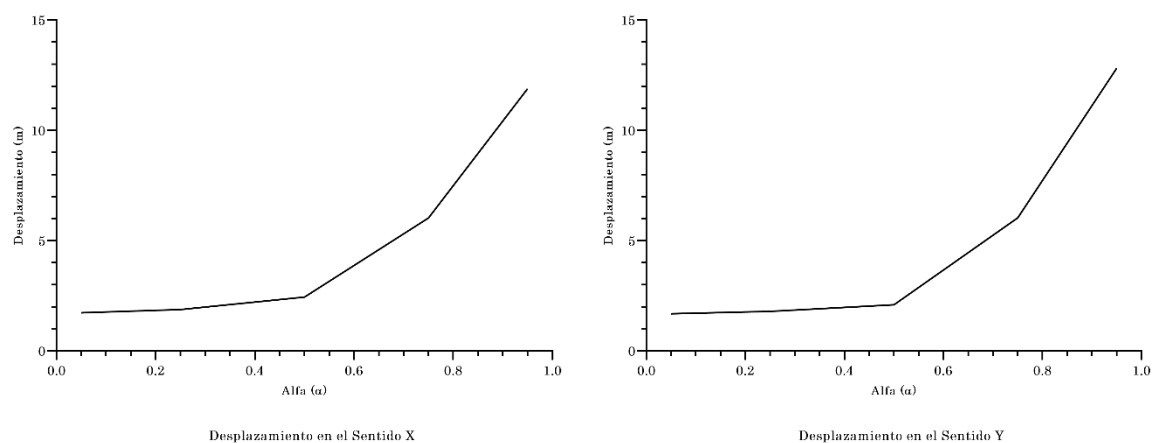
Tabla 70: Resultados de cortante basal y desplazamiento en el techo por método Time History Edificio Tipo 3

TIME HISTORY (Edificio Tipo 3)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.05	28399.719	1.727	29516.713	1.686
0.25	25829.173	1.878	27042.687	1.795
0.50	21228.151	2.441	23209.686	2.092
0.75	17198.019	6.029	16660.000	6.036
0.95	10766.055	11.884	10030.949	12.815

Las gráficas 44 y 45 muestran el cortante basal y desplazamiento en el techo del método dinámico no lineal Time History en el Edificio Tipo 3 en función del valor de α .



Gráfica 44: Cortante Basal Edificio Tipo 3 según método Time History



Gráfica 45: Desplazamiento en el techo Edificio Tipo 3 según método Time History

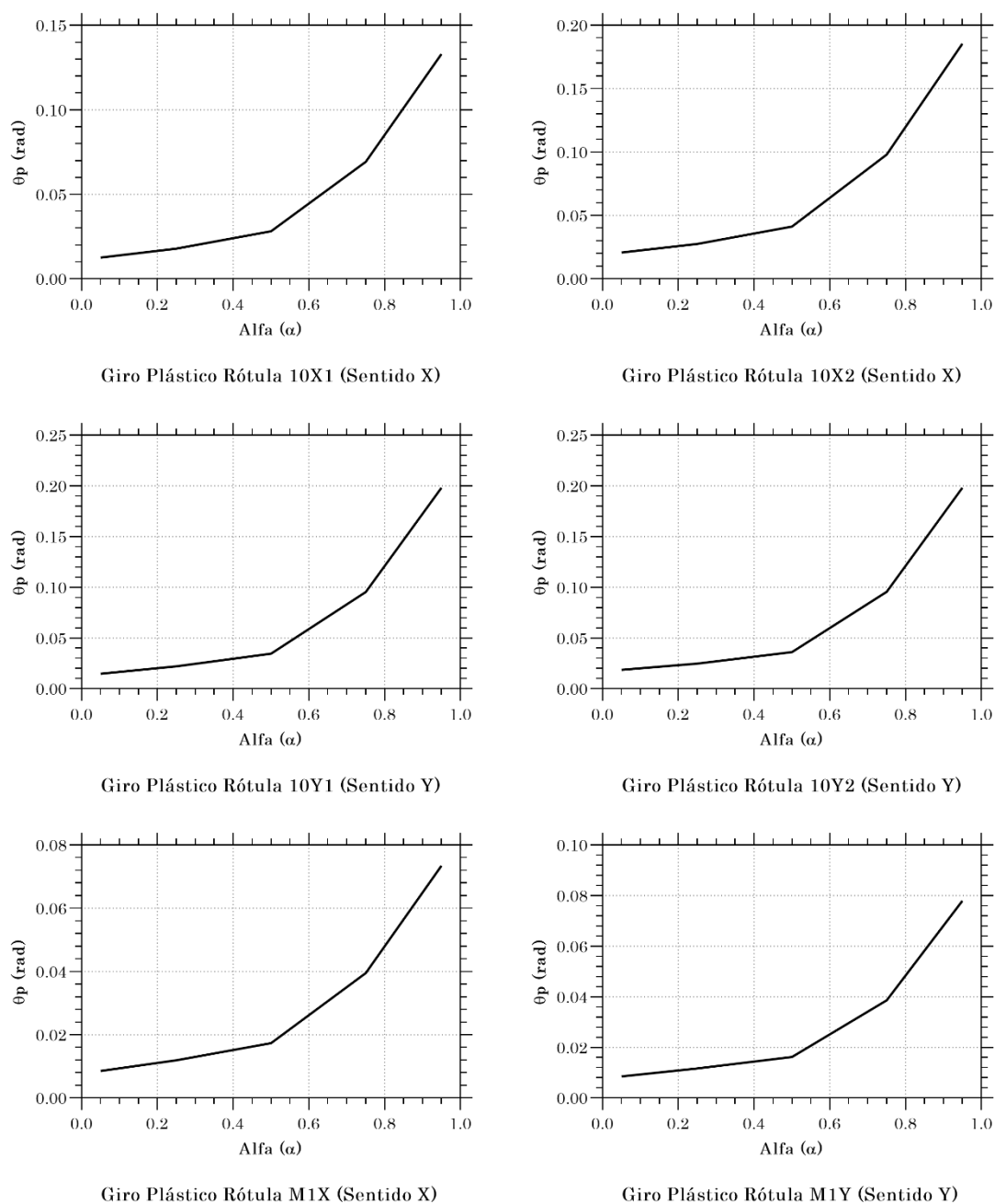
Se obtiene el giro plástico de las mismas 6 rótulas analizadas por el método de Doble Análisis Lineal. Su ubicación se puede apreciar en la figura 50.

La tabla 71 muestra los resultados de giro plásticos en las 6 rótulas analizadas con el método dinámico no lineal Time History en el caso de estudio del Edificio Tipo 3.

Tabla 71: Resultados de giro plástico en rótulas por método Time History Edificio Tipo 3

TIME HISTORY (Edificio Tipo 3)						
α	Rótulas en Vigas				Rótulas en Muros	
	Rótula 10X1	Rótula 10X2	Rótula 10Y1	Rótula 10Y2	Rótula M1X	Rótula M1Y
	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)	Giro Plástico (rad)
0.05	0.012545	0.020681	0.014685	0.018488	0.008505	0.008545
0.25	0.017805	0.027503	0.022014	0.024778	0.011909	0.011685
0.50	0.028165	0.041170	0.034550	0.036038	0.017312	0.016178
0.75	0.069252	0.098046	0.095374	0.095542	0.039531	0.038609
0.95	0.133022	0.185429	0.198060	0.198188	0.073413	0.077962

La gráfica 46 muestra el giro plástico de algunas rótulas del método dinámico no lineal Time History en el Edificio Tipo 3 en función del valor de α .



Gráfica 46: Giro Plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 3 según método Time History

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Análisis comparativo

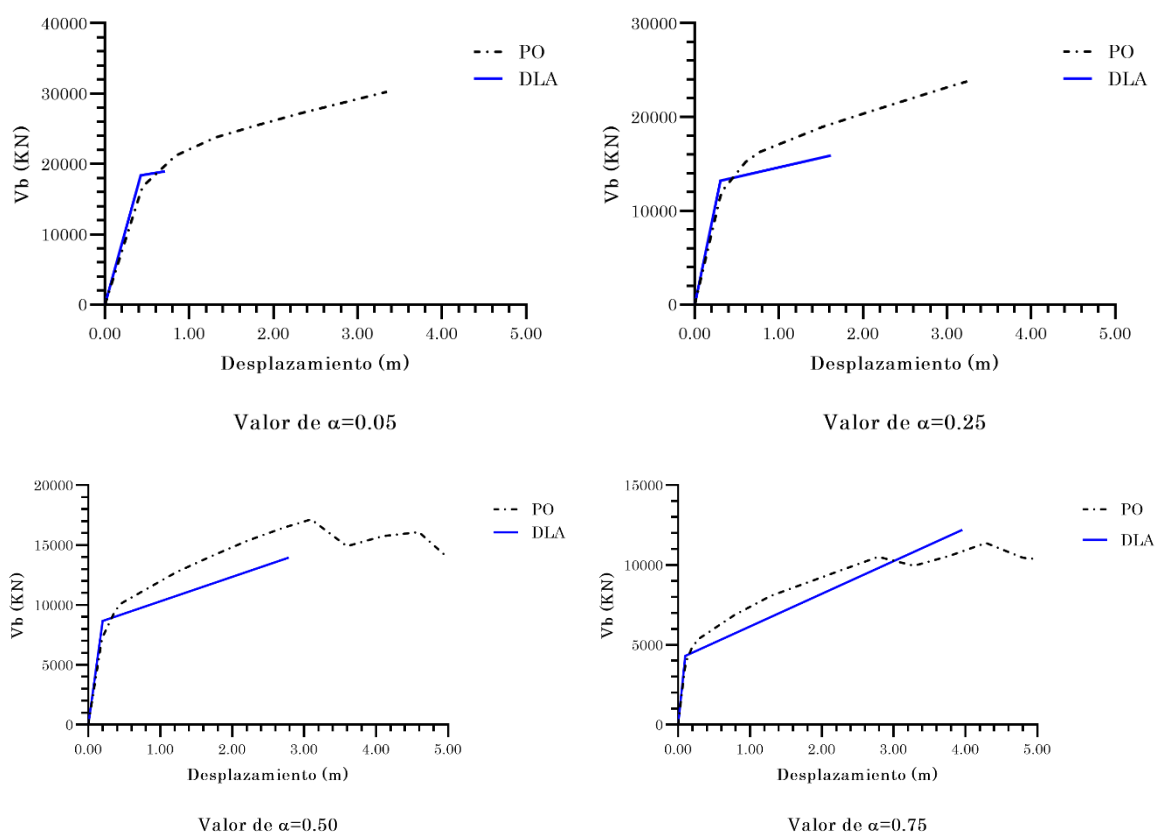
Este análisis de resultados se basa en la comparación de los tres indicadores obtenidos a partir de la aplicación de los métodos Doble Análisis Lineal, estático no lineal Push-Over y dinámico no lineal Time History. Estos indicadores son: Cortante basal, desplazamiento en el techo y el giro plástico de rótulas.

Además, se realiza una comparativa entre las curvas de capacidad obtenidas a partir del método estático no lineal Push-Over y el comportamiento bilineal del método de Doble Análisis Lineal según diferentes valores de α . Posterior se obtiene el punto de desempeño de ambas curvas según el método del (Eurocódigo 8, 2011), con el fin de analizar los resultados entre estas curvas.

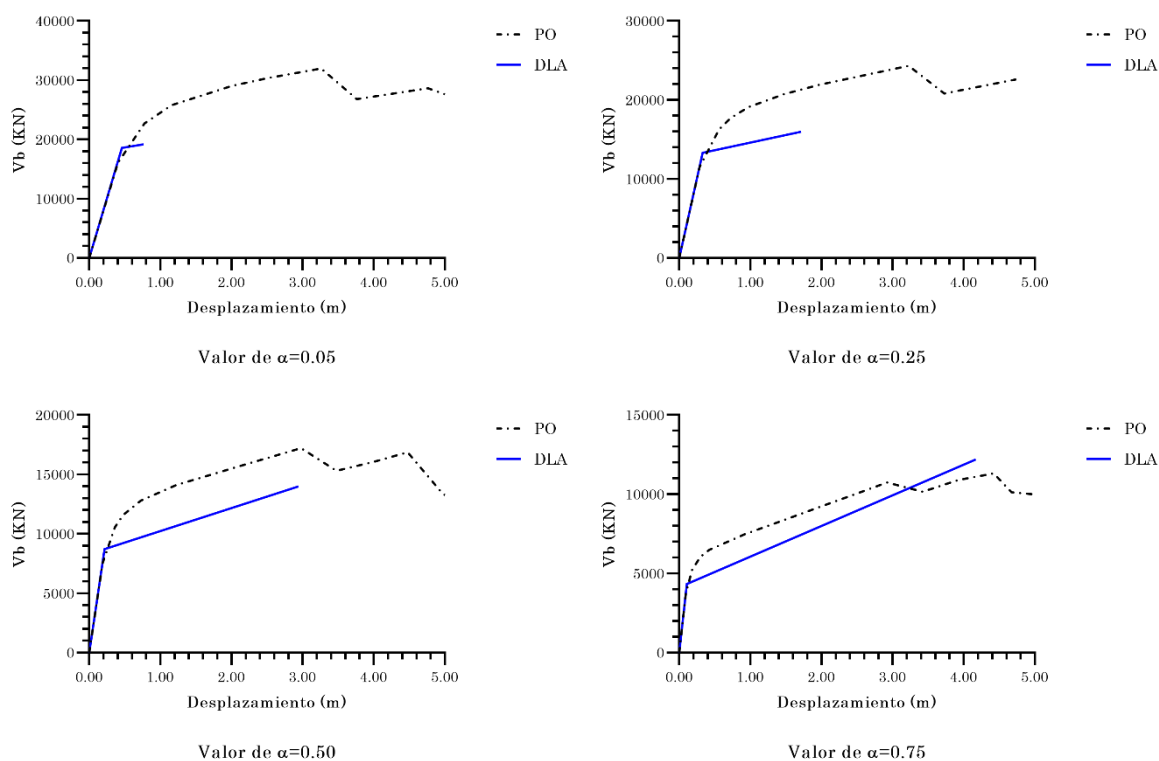
Los resultados de los puntos de desempeño de las curvas de capacidad y curvas bilineales según el método del Eurocódigo 8 se adjuntan en el Anejo 5.

6.1.1 Edificio Tipo 1

Las gráficas 47 y 48 muestran la comparativa entre las curvas de capacidad Push-Over y el comportamiento del método DLA según diferentes valores de α en las dos direcciones de análisis.



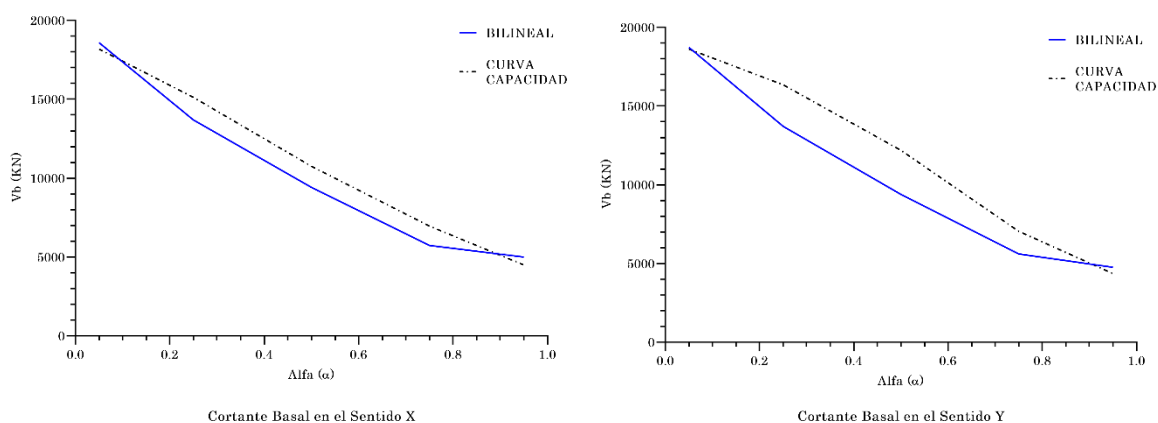
Gráfica 47: Comparativa entre curvas de capacidad y método DLA Edificio Tipo 1 Sentido X



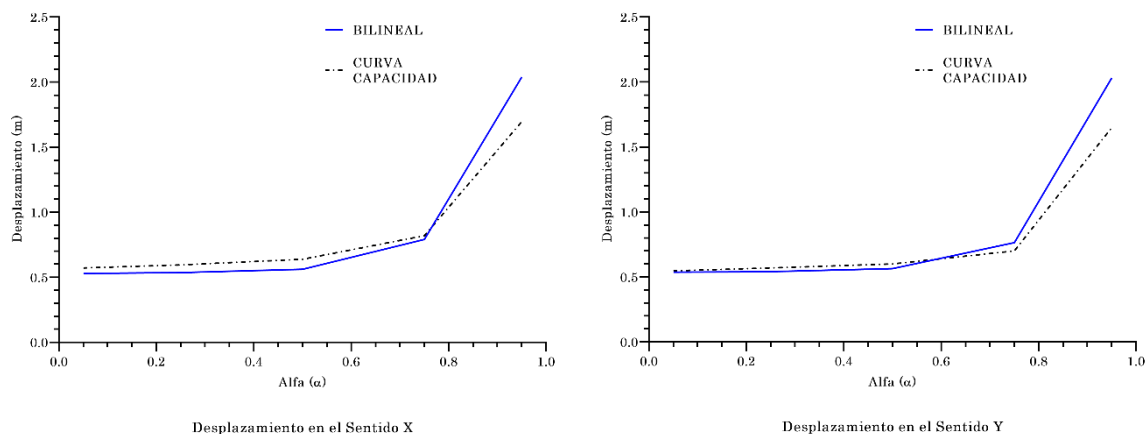
Gráfica 48: Comparativa entre curvas de capacidad y método DLA Edificio Tipo 1 Sentido Y

En las gráficas 47 y 48 se aprecia claramente que el método cumple la función de aproximarse al comportamiento no lineal mediante un desarrollo bilineal. En los primeros valores de α se observa que la pendiente del método es ligeramente empinada. Pero al superar los valores de $\alpha=0.5$, aumenta en mayor proporción y se asemeja más al método estático no lineal.

En las gráficas 49 y 50, se muestra el comportamiento del cortante basal y desplazamiento en el techo para diferentes valores de α , según el cálculo del punto de desempeño por el método del Eurocódigo 8 en la curva de capacidad y en la curva bilineal.



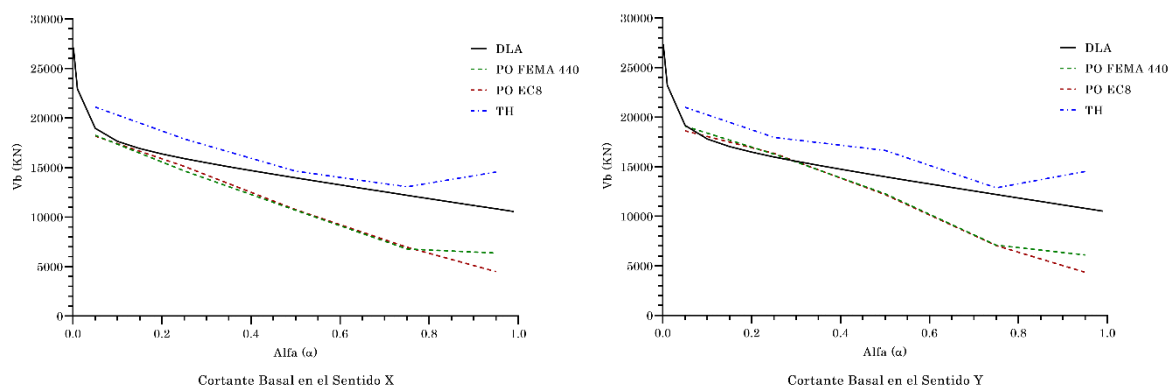
Gráfica 49: Comparativa cortante basal obtenido por puntos de desempeño según Eurocódigo 8 en las curvas de capacidad y curvas bilineales en Edificio Tipo 1



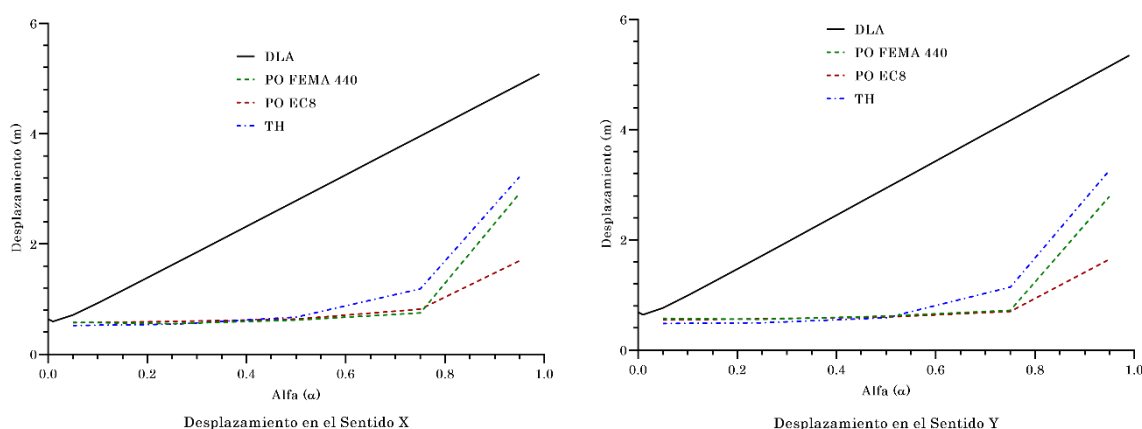
Gráfica 50: Comparativa desplazamiento en el techo obtenido por puntos de desempeño según Eurocódigo 8 en las curvas de capacidad y curvas bilineales en Edificio Tipo 1

Se observa claramente en las gráficas 49 y 50 que no existe una gran variación entre los puntos de desempeño obtenidos en la curva de capacidad y la curva bilineal, demostrando que la curva bilineal cumple con su función de simular un comportamiento no lineal de manera adecuada.

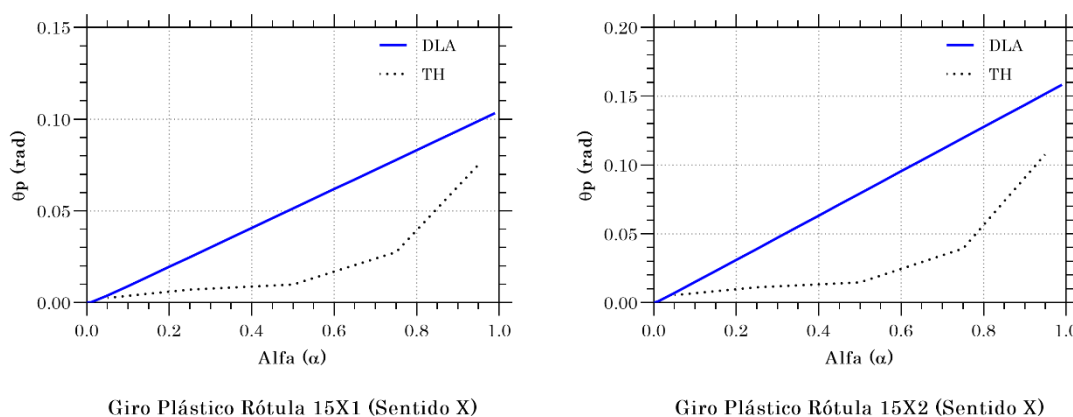
En las gráficas 51, 52 y 53 se muestran las comparativas de los tres indicadores analizados (Cortante basal, desplazamiento en el techo y giro plástico en 6 rótulas seleccionadas) para los 3 métodos: DLA, Push-Over y Time History. Todas según diferentes valores de α .

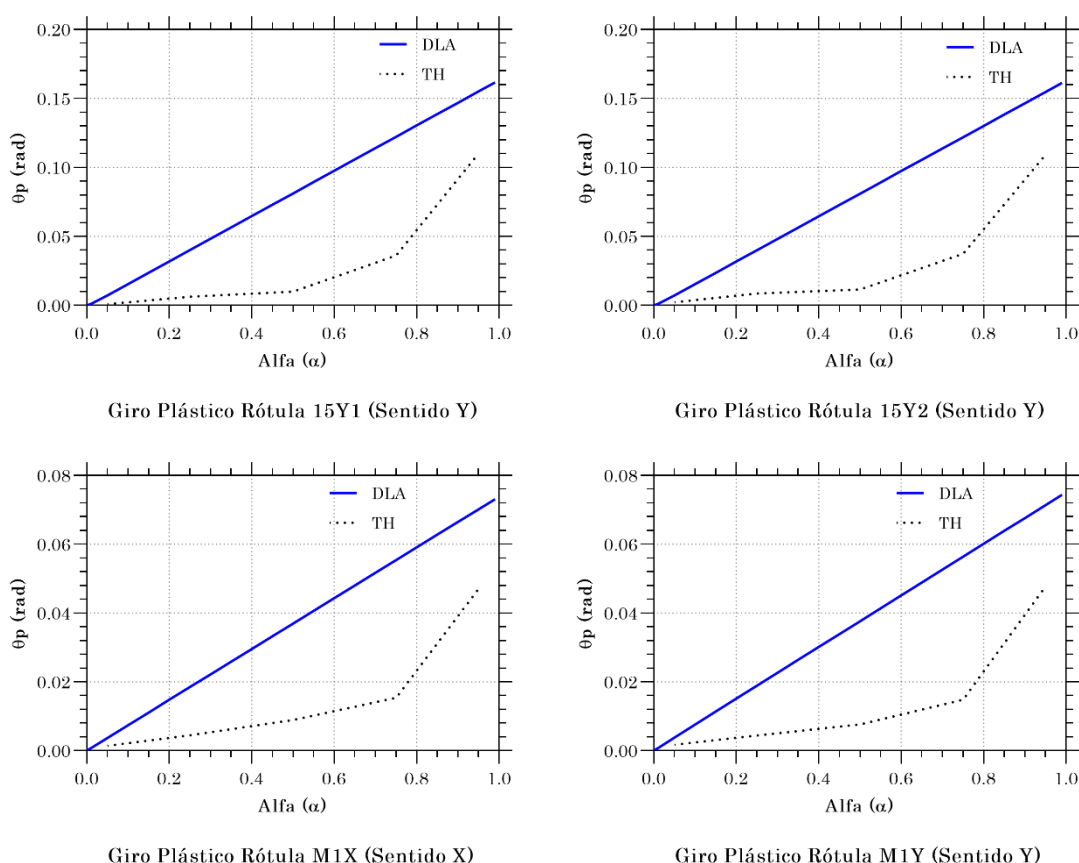


Gráfica 51: Comparativa cortante basal Edificio Tipo 1 según método DLA, Push-Over y Time History



Gráfica 52: Comparativa desplazamiento en el techo Edificio Tipo 1 según método DLA, Push-Over y Time History





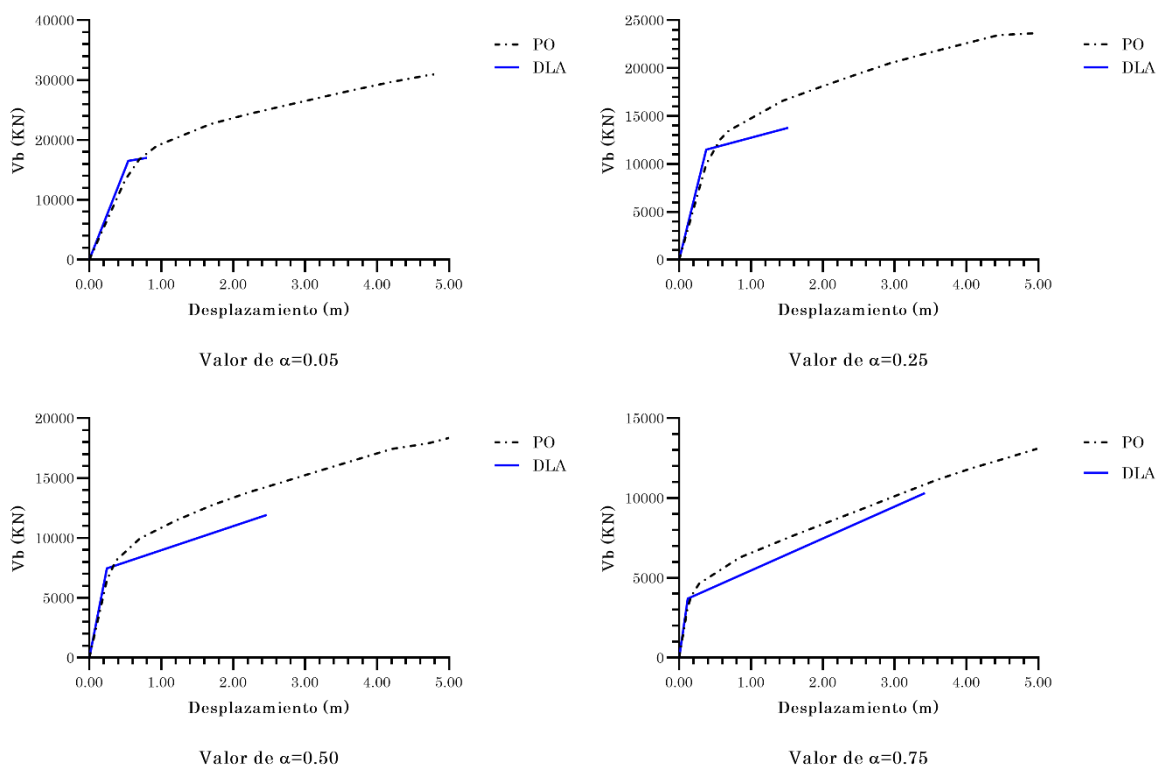
Gráfica 53: Comparativa giro plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 1 según método DLA y Time History

En la gráfica 51 se aprecia el comportamiento del método DLA frente al método estático no lineal Push-Over y el método dinámico no lineal Time History en función del indicador de cortante basal. Claramente se aprecia un comportamiento muy aproximado donde para valores menores a $\alpha=0.75$ en Time History se tienen errores entre 4%-16% y para Push-Over con valores menores a $\alpha=0.5$ se tiene errores entre 1%-10%.

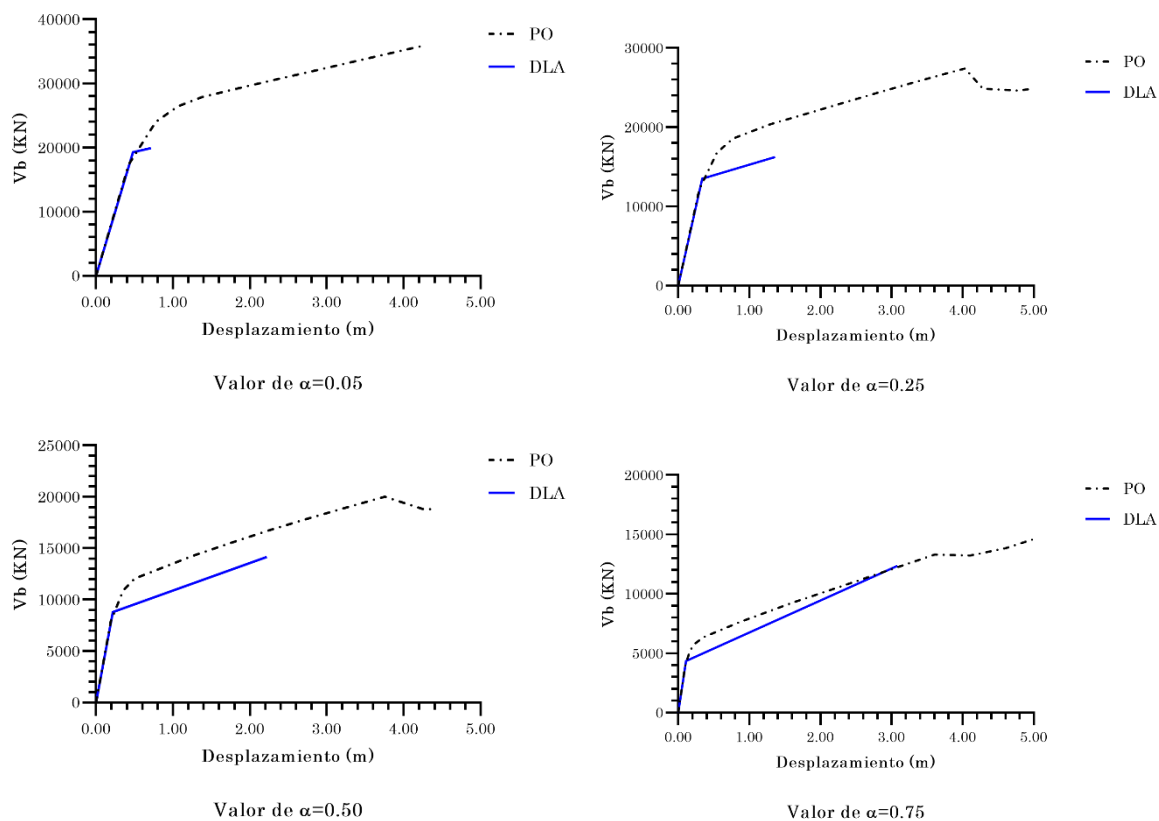
Analizando los indicadores de desplazamiento en el techo y del giro plástico en las rótulas, se observa en las gráficas 52 y 53 que el comportamiento de los métodos no lineales mantiene una variación poco creciente entre valores de $\alpha=0.05$ y $\alpha=0.50$ y posterior a estos valores se dan fuertes incrementos. Lo cual difiere de manera significativa en comparación con el método DLA, el mismo que tiene un incremento lineal uniforme.

6.1.2 Edificio Tipo 2

Las gráficas 54 y 55 muestran la comparativa entre las curvas de capacidad Push-Over y el comportamiento del método DLA según diferentes valores de α en las dos direcciones de análisis.



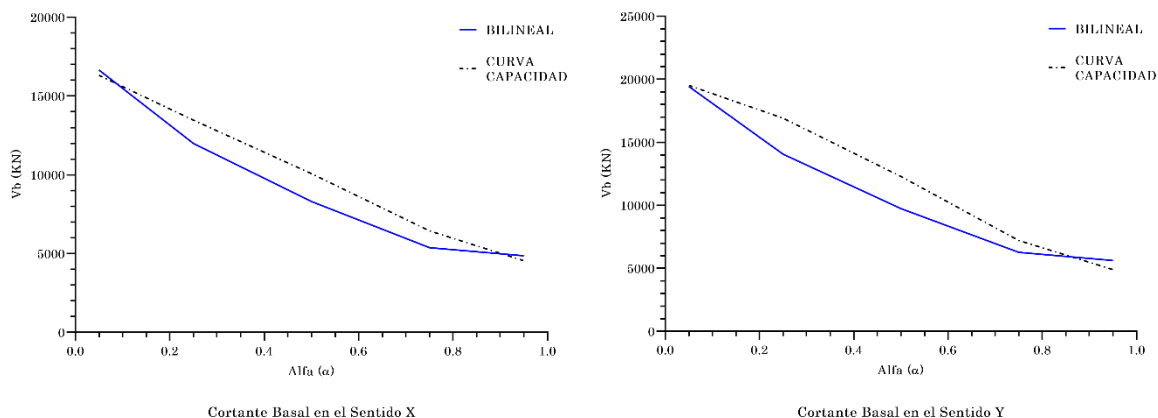
Gráfica 54: Comparativa entre curvas de capacidad y método DLA Edificio Tipo 2 Sentido X



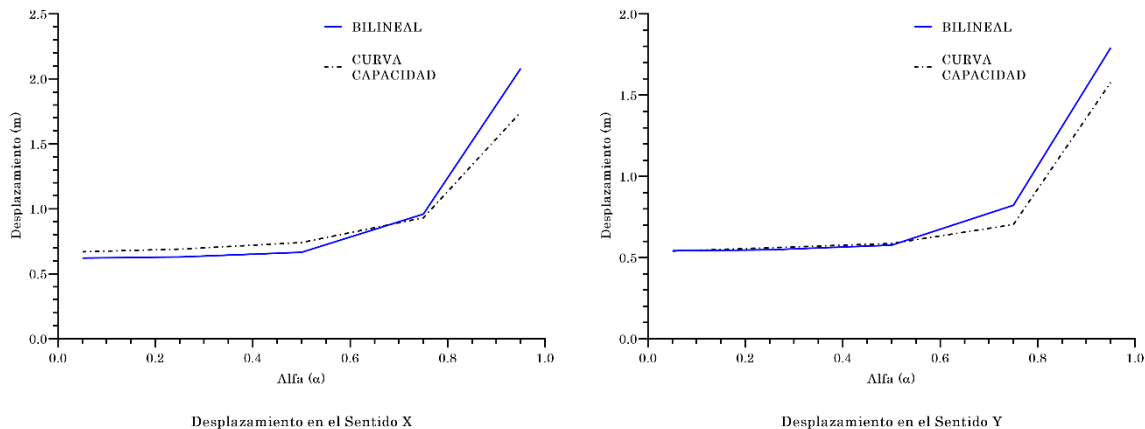
Gráfica 55: Comparativa entre curvas de capacidad y método DLA Edificio Tipo 2 Sentido Y

En las gráficas 54 y 55 se aprecia claramente que el método mediante la curva bilineal se comporta de manera aproximada a la curva de capacidad, tal como se dio en el caso 1.

En las gráficas 56 y 57, se muestra el comportamiento del cortante basal y desplazamiento en el techo para diferentes valores de α , según el cálculo del punto de desempeño por el método del Eurocódigo 8 en la curva de capacidad y en la curva bilineal.



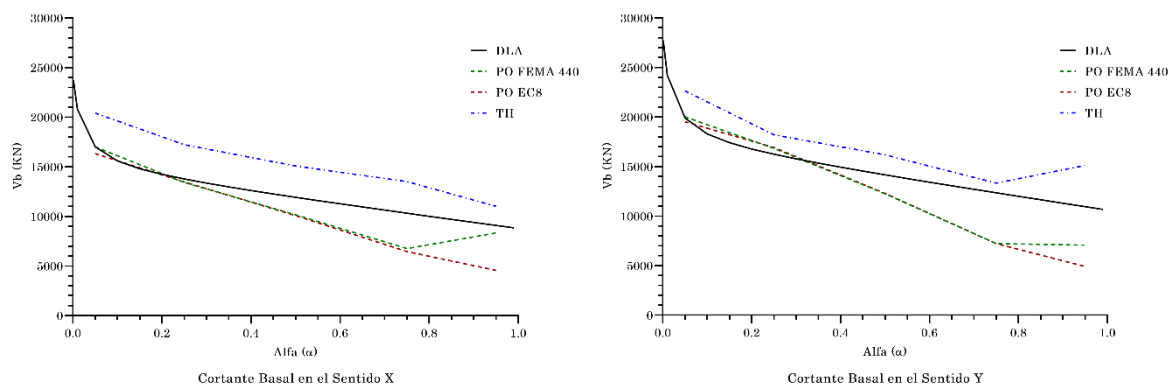
Gráfica 56: Comparativa cortante basal obtenido por puntos de desempeño según Eurocódigo 8 en las curvas de capacidad y curvas bilineales en Edificio Tipo 2



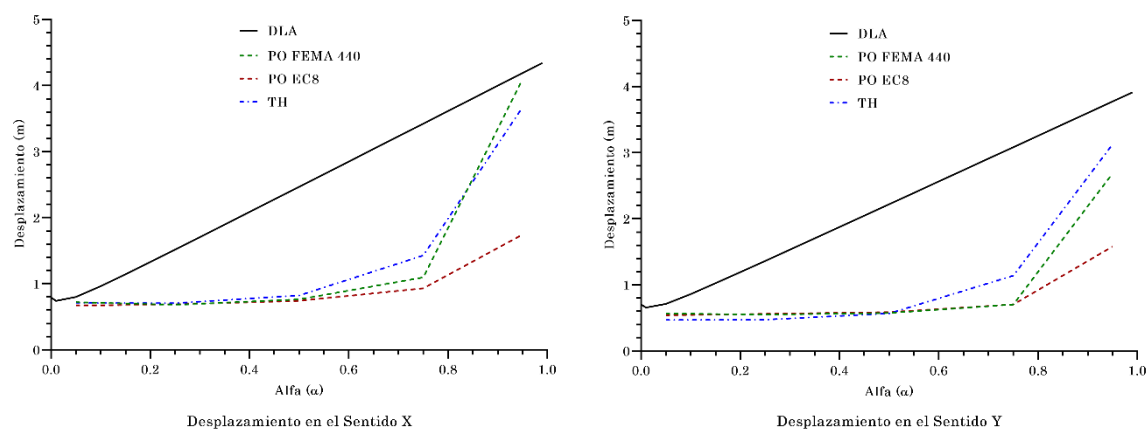
Gráfica 57: Comparativa desplazamiento en el techo obtenido por puntos de desempeño según Eurocódigo 8 en las curvas de capacidad y curvas bilineales en Edificio Tipo 2

Se observa claramente en las gráficas 56 y 57 que no existe una gran variación entre los puntos de desempeño obtenidos en la curva de capacidad y la curva bilineal.

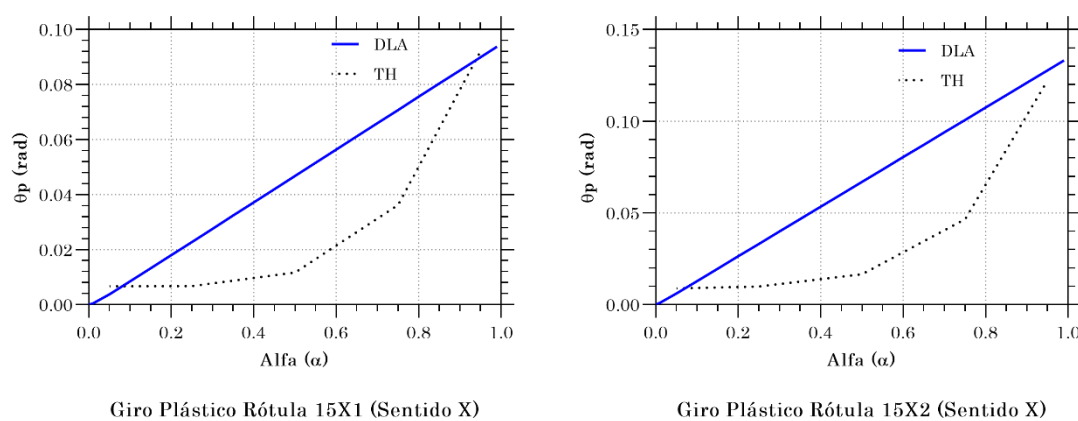
En las gráficas 58, 59 y 60 se muestran las comparativas de los tres indicadores analizados (Cortante basal, desplazamiento en el techo y giro plástico en 6 rótulas seleccionadas) para los 3 métodos: DLA, Push-Over y Time History. Todas según diferentes valores de α .

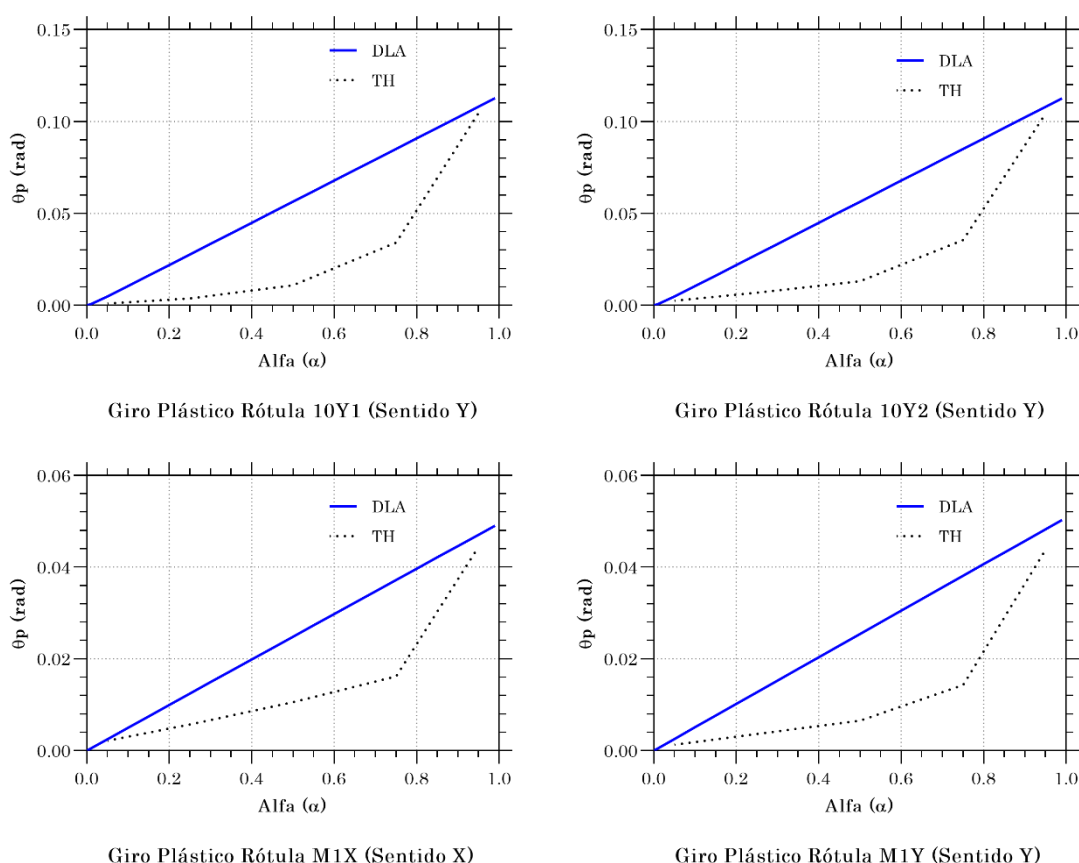


Gráfica 58: Comparativa cortante basal Edificio Tipo 2 según método DLA, Push-Over y Time History



Gráfica 59: Comparativa desplazamiento en el techo Edificio Tipo 2 según método DLA, Push-Over y Time History





Gráfica 60: Comparativa giro plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 2 según método DLA y Time History

En la gráfica 58 se aprecia el comportamiento del método DLA frente al método estático no lineal Push-Over y el método dinámico no lineal Time History en función del indicador de cortante basal. Claramente se nota que existe un diferente comportamiento de la estructura según el sentido de análisis, esto por la irregularidad en planta definida en el presente caso de estudio.

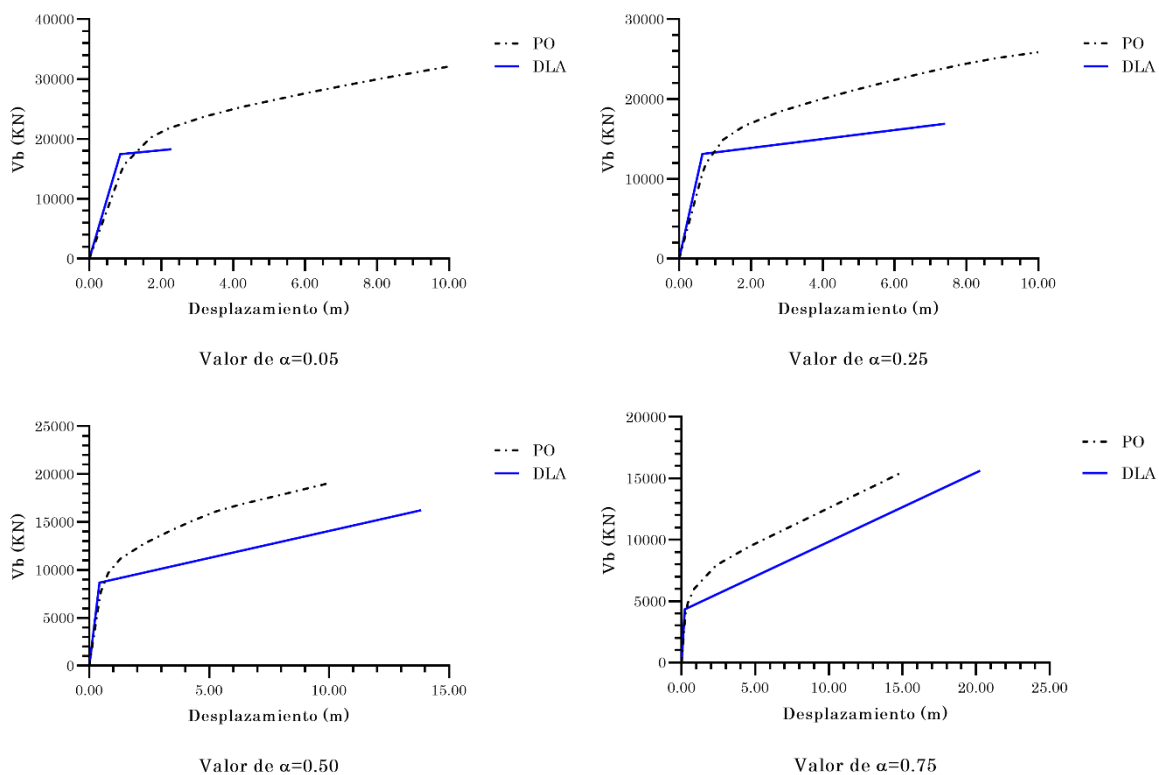
En el sentido X (donde se tiene menor rigidez lateral) se aprecia un comportamiento muy parecido en forma, pero con un mayor desfase, donde para valores menores a $\alpha=0.75$ en Time History se tienen errores entre 16%-24% y para Push-Over con valores menores a $\alpha=0.5$ se tiene errores entre 1%-18%.

En el sentido Y para valores menores a $\alpha=0.75$ en Time History se tienen errores entre 7%-13% y para Push-Over con valores menores a $\alpha=0.5$ se tiene errores entre 1%-16%.

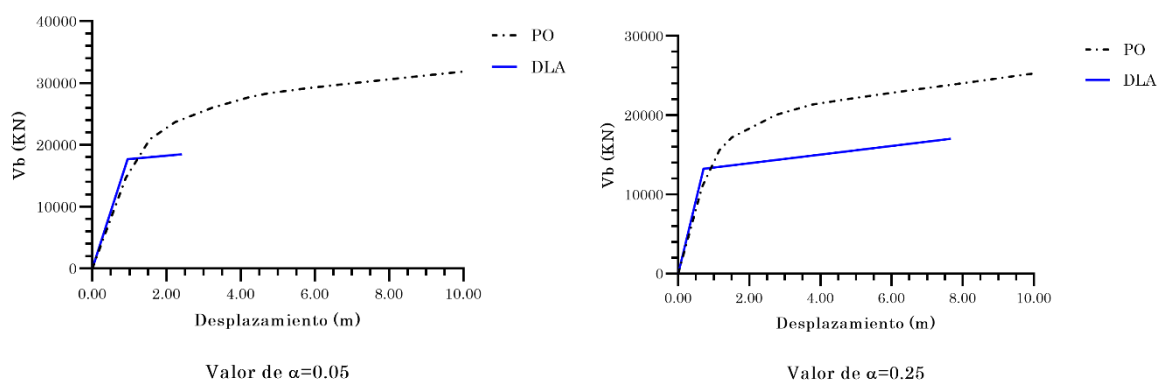
Analizando los indicadores de desplazamiento en el techo y del giro plástico en las rótulas, se observa en las gráficas 59 y 60 que el comportamiento de los métodos no lineales sigue manteniendo una variación poco creciente entre valores de $\alpha=0.05$ y $\alpha=0.75$ y posterior a estos valores se dan fuertes incrementos.

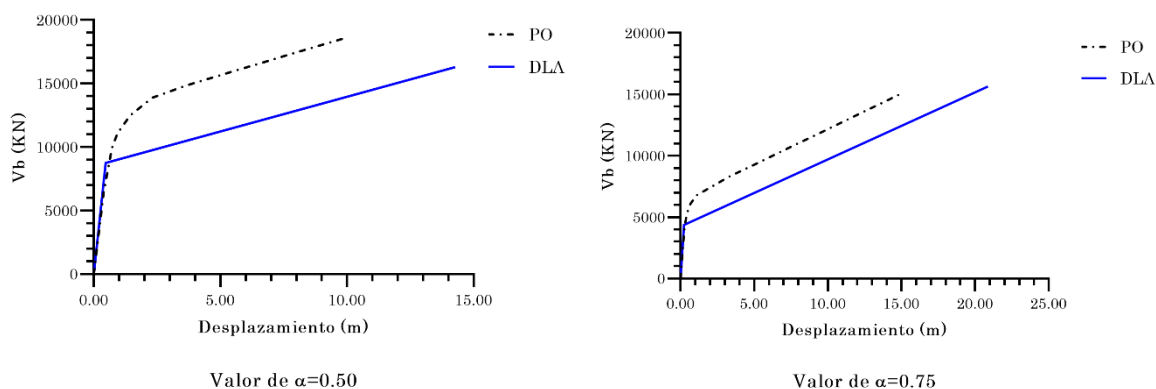
6.1.3 Edificio Tipo 3

Las gráficas 61 y 62 muestran la comparativa entre las curvas de capacidad Push-Over y el comportamiento del método DLA según diferentes valores de α en las dos direcciones de análisis.



Gráfica 61: Comparativa entre curvas de capacidad y método DLA Edificio Tipo 3 Sentido X

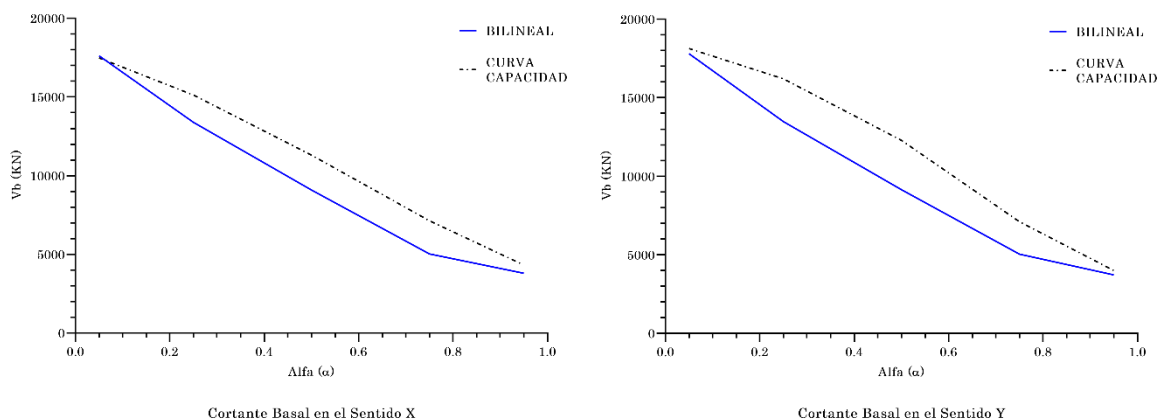




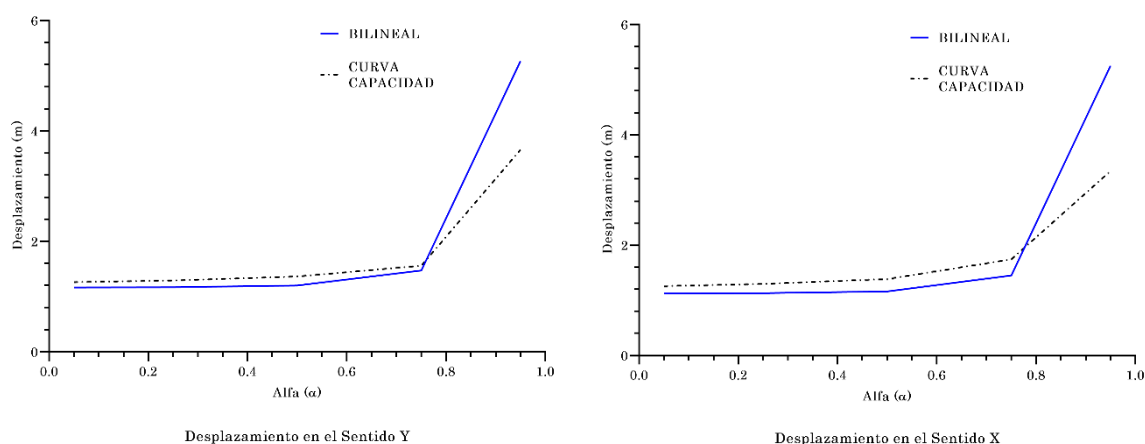
Gráfica 62: Comparativa entre curvas de capacidad y método DLA Edificio Tipo 3 Sentido Y

En las gráficas 61 y 62 se aprecia claramente que el método al igual que en los anteriores casos analizados cumple la función de aproximarse al comportamiento no lineal mediante un desarrollo bilineal, pero en este caso la pendiente del método DLA tiene un mayor desfase por debajo de la curva de capacidad.

En las gráficas 63 y 64, se muestra el comportamiento del cortante basal y desplazamiento en el techo para diferentes valores de α , según el cálculo del punto de desempeño por el método del Eurocódigo 8 en la curva de capacidad y en la curva bilineal.



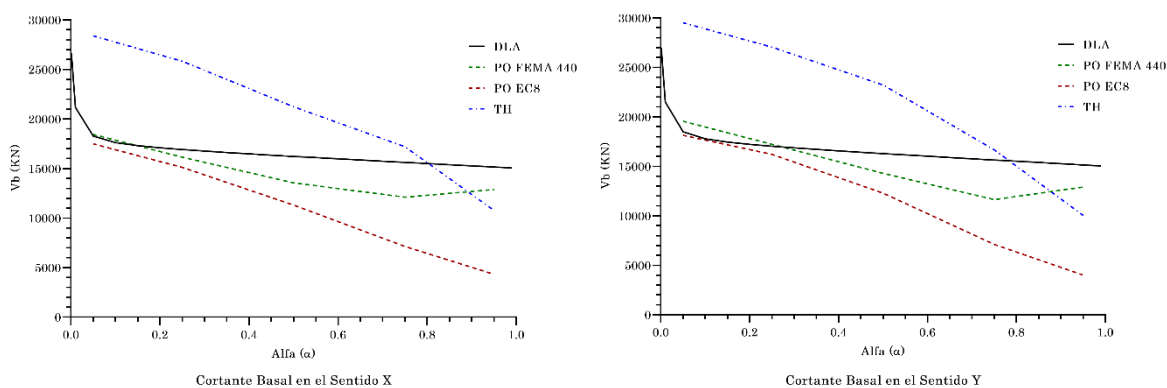
Gráfica 63: Comparativa cortante basal obtenido por puntos de desempeño según Eurocódigo 8 en las curvas de capacidad y curvas bilineales en Edificio Tipo 3



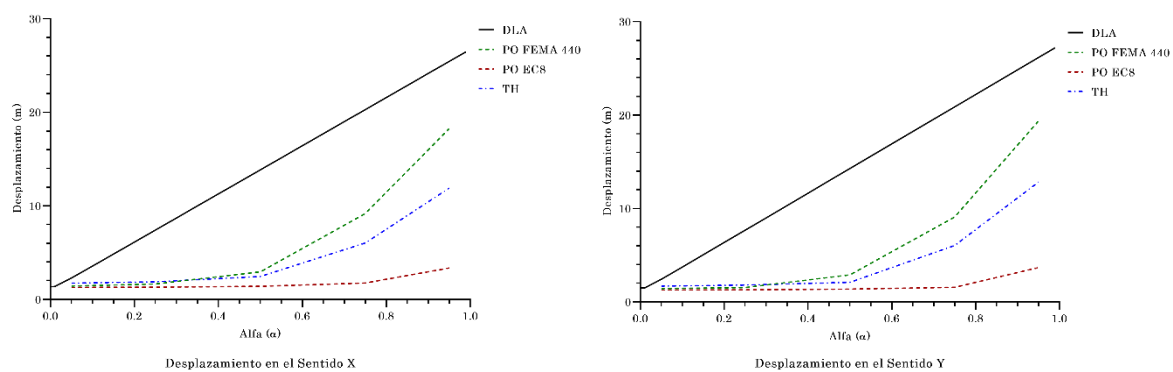
Gráfica 64: Comparativa desplazamiento en el techo obtenido por puntos de desempeño según Eurocódigo 8 en las curvas de capacidad y curvas bilineales en Edificio Tipo 3

Se observa claramente en las gráficas 63 y 64 que no existe una gran variación entre los puntos de desempeño obtenidos en la curva de capacidad y la curva bilineal.

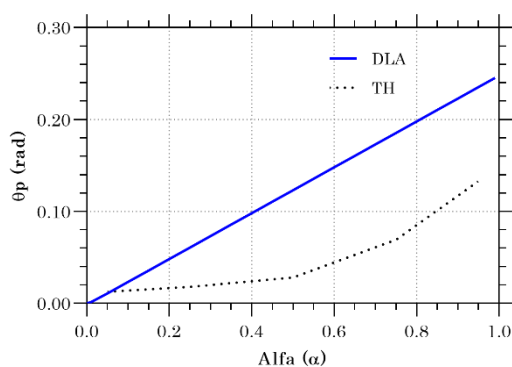
En las gráficas 65, 66 y 67 se muestran las comparativas de los tres indicadores analizados (Cortante basal, desplazamiento en el techo y giro plástico en 6 rótulas seleccionadas) para los 3 métodos: DLA, Push-Over y Time History. Todas según diferentes valores de α .



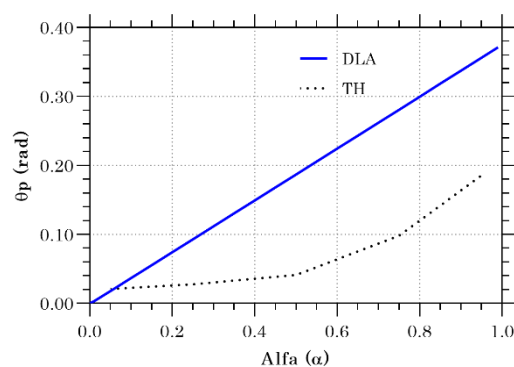
Gráfica 65: Comparativa cortante basal Edificio Tipo 3 según método DLA, Push-Over y Time History



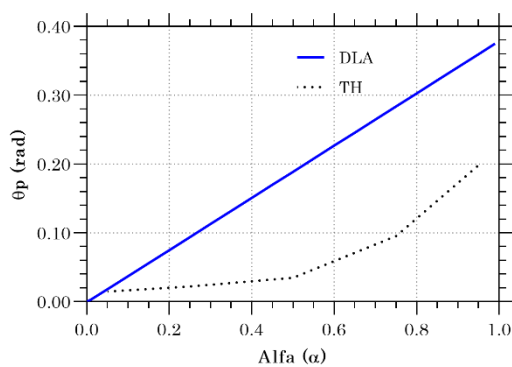
Gráfica 66: Comparativa desplazamiento en el techo Edificio Tipo 3 según método DLA, Push-Over y Time History



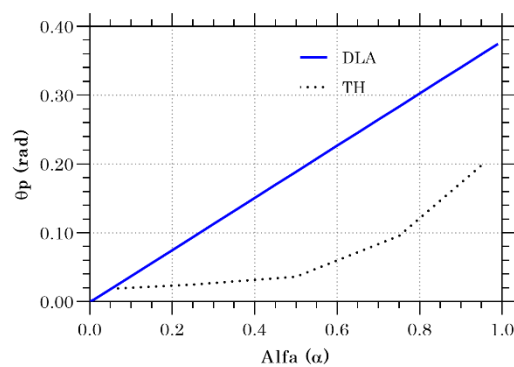
Giro Plástico Rótula 10X1 (Sentido X)



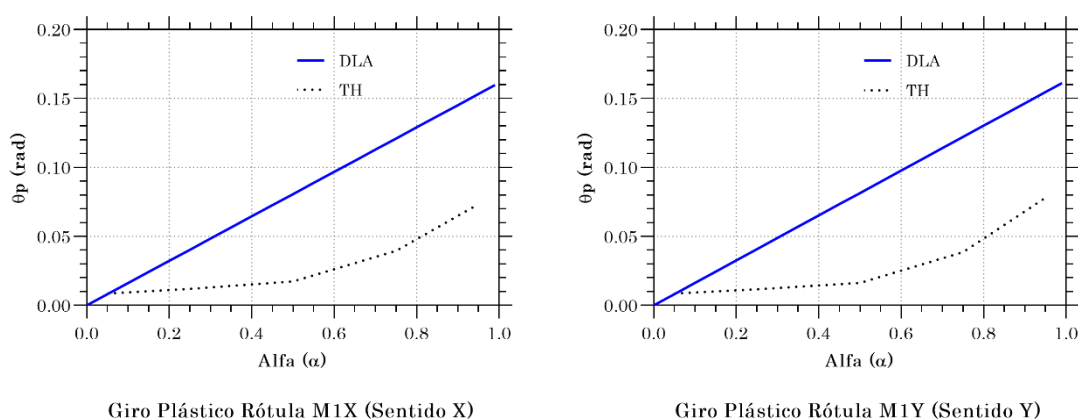
Giro Plástico Rótula 10X2 (Sentido X)



Giro Plástico Rótula 10Y1 (Sentido Y)



Giro Plástico Rótula 10Y2 (Sentido Y)



Gráfica 67: Comparativa giro plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 3 según método DLA y Time History

En la gráfica 65 se aprecia el comportamiento del método DLA frente al método estático no lineal Push-Over y el método dinámico no lineal Time History en función del indicador de cortante basal. Claramente se nota una variación del comportamiento de la estructura frente al método dinámico no lineal. Esto por la influencia de los modos altos de vibración, los cuales distribuyen de manera diferente las fuerzas dinámicas sobre la edificación.

Por otro lado, se aprecia que el comportamiento del método DLA es muy aproximado al comportamiento del método Push-Over, donde para valores menores a $\alpha=0.50$ en el sentido X se tienen errores entre 1%-20% y para el sentido Y se tiene errores entre 1%-14%.

Al comparar el método DLA con el Time History, para valores menores a $\alpha=0.75$, tenemos errores 23%-37%.

Analizando los indicadores de desplazamiento en el techo y del giro plástico en las rótulas, se observa en las gráficas 66 y 67 que el comportamiento de los métodos no lineales sigue manteniéndose, como en los otros casos de estudio, una variación poco creciente entre valores de $\alpha=0.05$ y $\alpha=0.50$ y posterior a estos valores se dan fuertes incrementos.

Según el análisis de resultados realizado en este capítulo, se pudo observar que el comportamiento del método de Doble Análisis Lineal en general brinda buenos resultados en comparación con los métodos no lineales de uso común.

Observando el comportamiento de las curvas de capacidad y las curvas bilineales del método DLA se tiene que a medida que se utiliza un valor creciente de α , tenemos una mejor aproximación entre las curvas. Esto porque el método DLA considera una pérdida total de rigidez en las rótulas en un solo paso, mientras la curva de capacidad va perdiendo rigidez poco a poco por la formación de rótulas plásticas de manera progresiva.

También se aprecia que el comportamiento de la curva bilineal es muy aproximado al de la curva de capacidad, ya que al obtener los puntos de desempeño de ambas curvas por el método del Eurocódigo 8 no se vio una alta variación en los resultados de cortante y desplazamiento.

Considerando el cortante en la base, se aprecia un buen comportamiento con errores de baja magnitud en la mayoría de los valores de α , por lo cual nos da una buena pauta para su aplicación como método alternativo. Cabe mencionar que el método DLA frente al Push-Over se mantiene en el lado de la seguridad.

En lo que respecta a los desplazamientos y giros plásticos se puede decir que aquí si se obtuvo un comportamiento variable, pero del lado de la seguridad, lo que hace que el método si se pueda considerar sin problema.

Para tener mejores resultados sobre las diferencias en los desplazamientos y giros plásticos, se define la siguiente sección donde se propone una modificación al exponente de la fórmula de cálculo de los desplazamientos y giros plásticos del método DLA.

6.2 Propuesta para el cálculo de desplazamientos y giros plásticos

Según las gráficas 52, 59 y 66 de desplazamientos en el techo y las gráficas 53, 60 y 67 de giros plásticos en rótulas de los casos de estudio analizados, se propone la utilización de un exponente en la fórmula del método DLA para el cálculo de desplazamientos y giros plásticos. Esta propuesta se basa en la forma del incremento de los resultados, la misma que se puede relacionar con una función cúbica para obtener una mejor aproximación con los métodos no lineales.

Las fórmulas quedarían definidas como se muestran a continuación:

$$d_{nl} = \eta[(1 - \alpha^3) * d_e + \alpha^3 * d_a] \quad (13)$$

$$\theta_{pl}^i = \eta[(1 - \alpha^3) * \theta e^i + \alpha^3 * \theta a^i] - \theta e^i \quad (14)$$

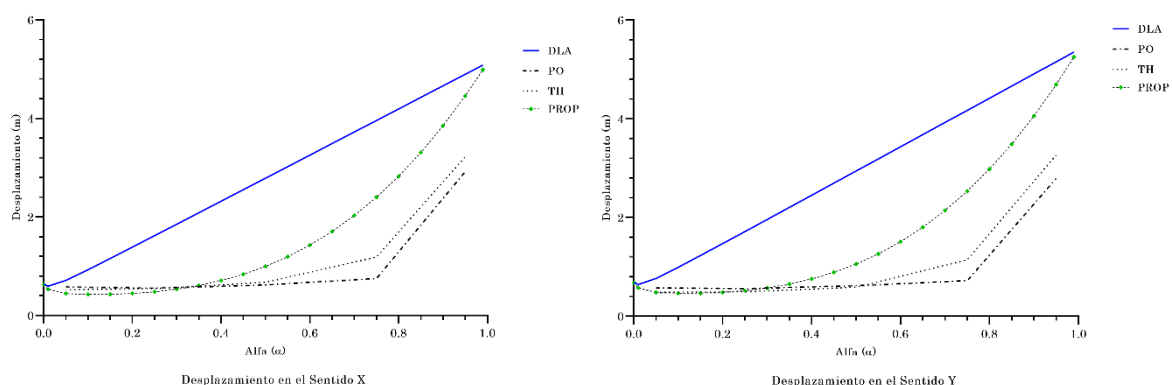
Donde:

d_{nl} es el desplazamiento final de la combinación de los dos modelos estructurales

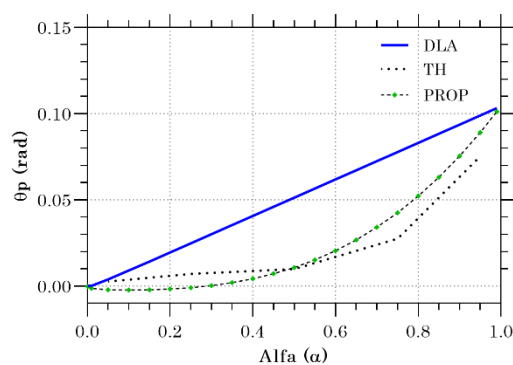
θ_{pl}^i es el giro plástico en el nodo i de la combinación de los dos modelos estructurales

Para observar de mejor manera dicha propuesta, se incluye ésta en la comparativa entre el método DLA, el método Push-Over y el método Time History para los diferentes casos de estudio en el cálculo de los desplazamientos en el techo y los giros plásticos.

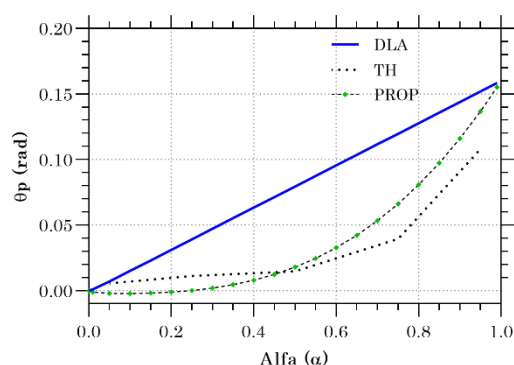
6.2.1 Edificio Tipo 1



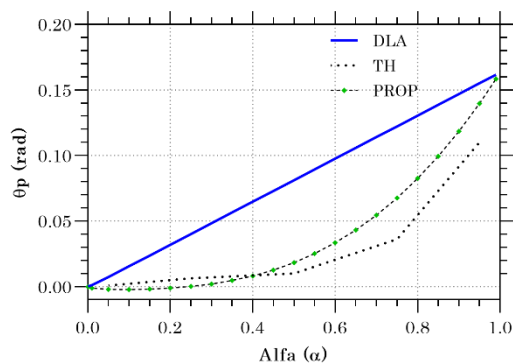
Gráfica 68: Propuesta de función cúbica en el cálculo de desplazamiento en el techo Edificio Tipo 1



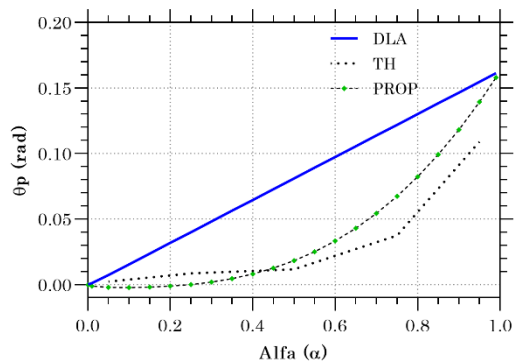
Giro Plástico Rótula 15X1 (Sentido X)



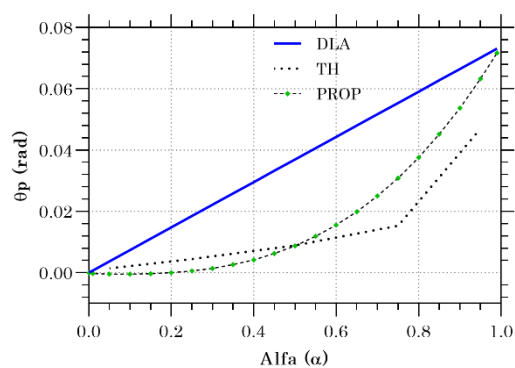
Giro Plástico Rótula 15X2 (Sentido X)



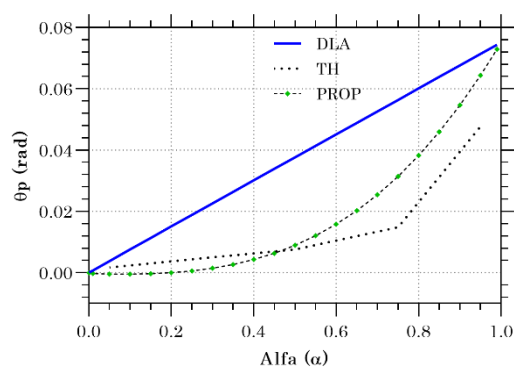
Giro Plástico Rótula 15Y1 (Sentido Y)



Giro Plástico Rótula 15Y2 (Sentido Y)



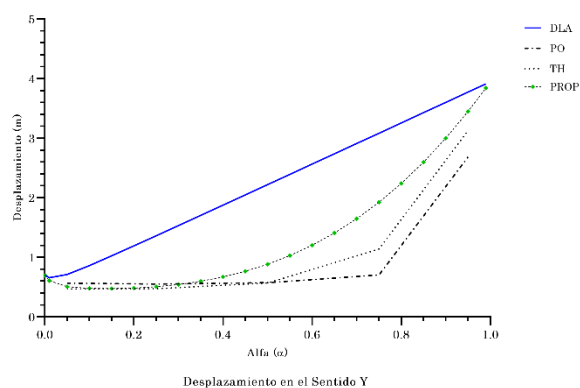
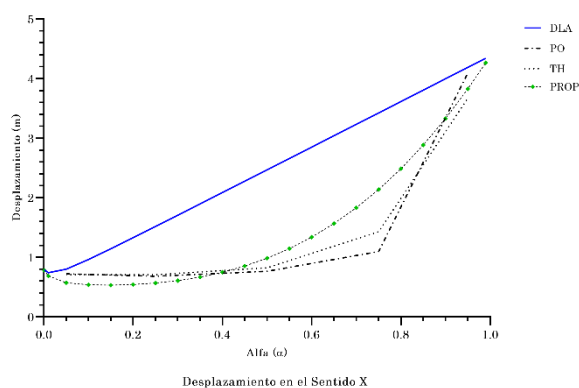
Giro Plástico Rótula M1X (Sentido X)



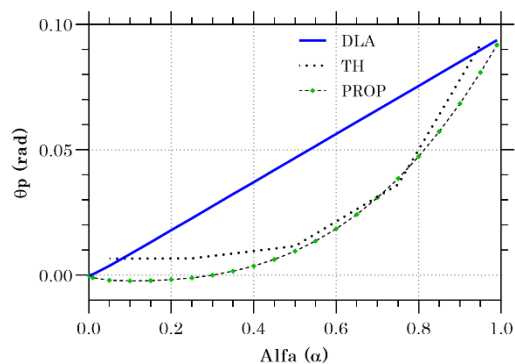
Giro Plástico Rótula M1Y (Sentido Y)

Gráfica 69: Propuesta de función cúbica en el cálculo de giro plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 1

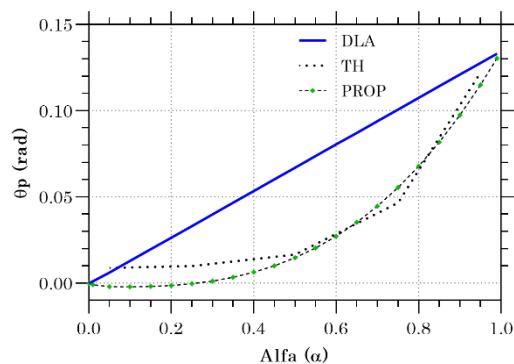
6.2.2 Edificio Tipo 2



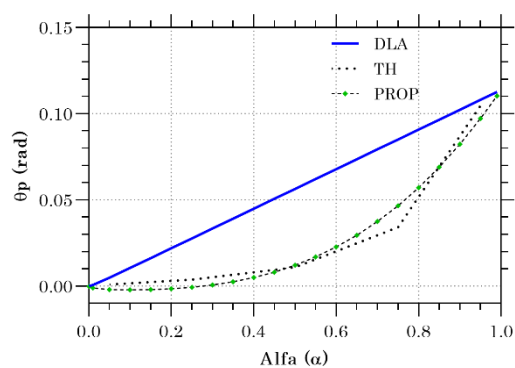
Gráfica 70: Propuesta de función cúbica en el cálculo de desplazamiento en el techo Edificio Tipo 2



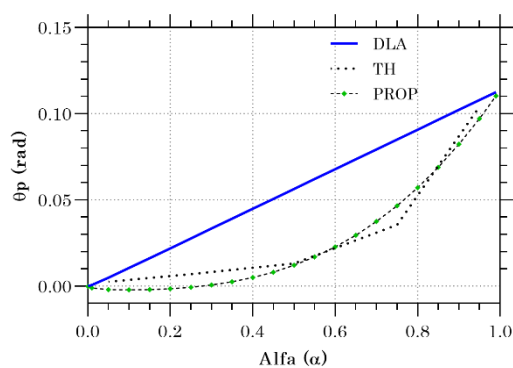
Giro Plástico Rótula 15X1 (Sentido X)



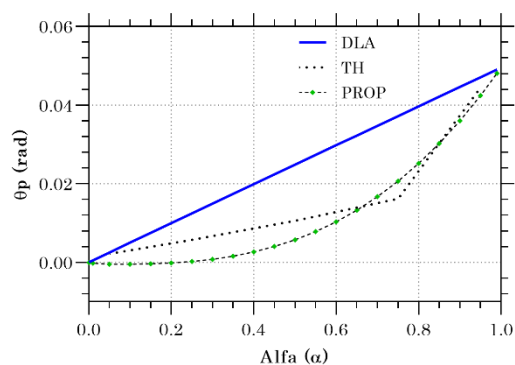
Giro Plástico Rótula 15X2 (Sentido X)



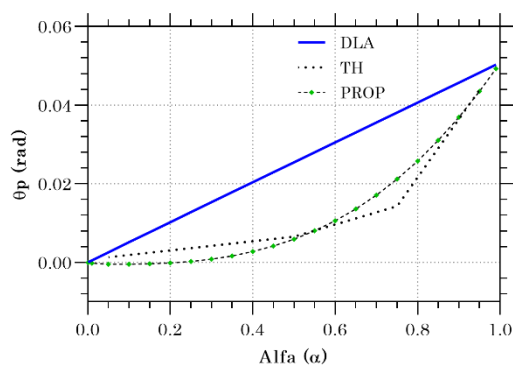
Giro Plástico Rótula 10Y1 (Sentido Y)



Giro Plástico Rótula 10Y2 (Sentido Y)



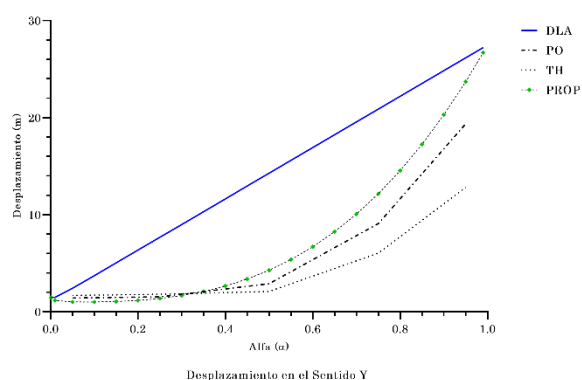
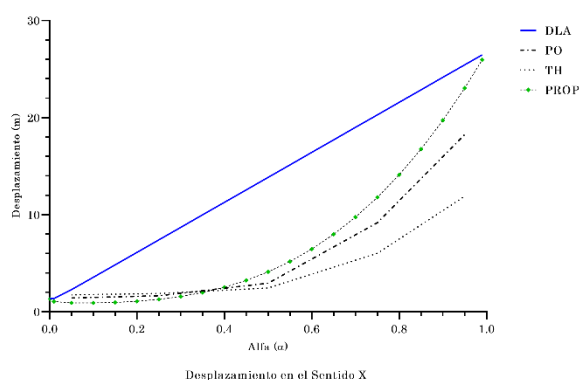
Giro Plástico Rótula M1X (Sentido X)



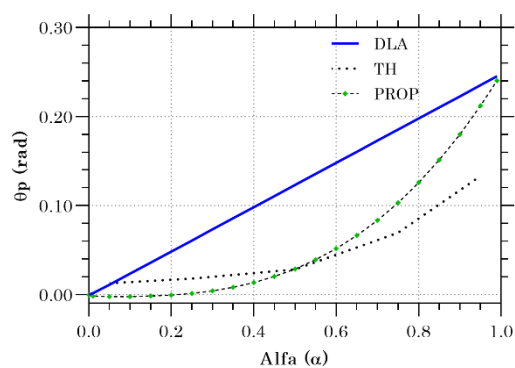
Giro Plástico Rótula M1Y (Sentido Y)

Gráfica 71: Propuesta de función cúbica en el cálculo de giro plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 2

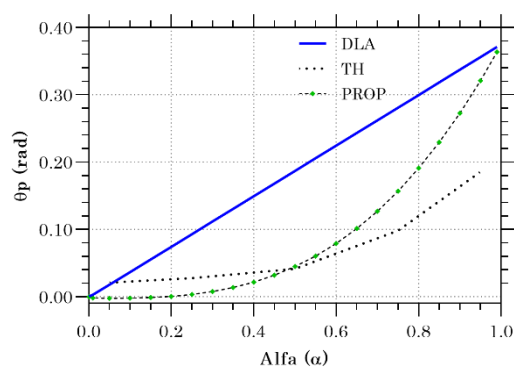
6.2.3 Edificio Tipo 3



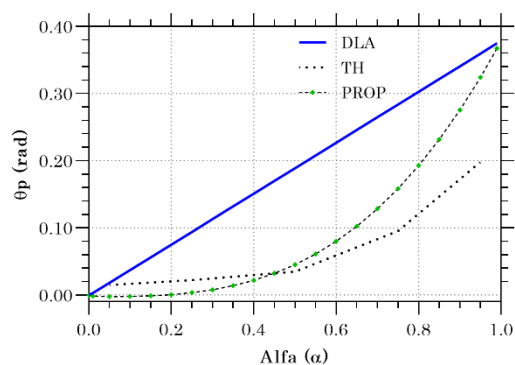
Gráfica 72: Propuesta de función cúbica en el cálculo de desplazamiento en el techo Edificio Tipo 3



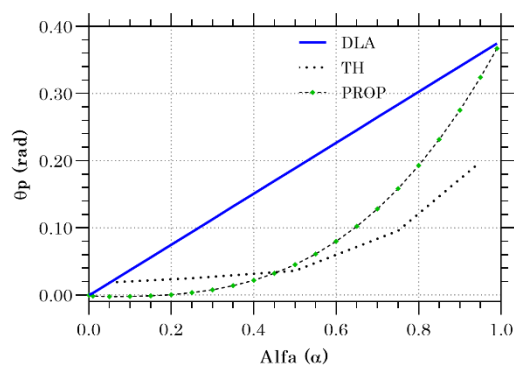
Giro Plástico Rótula 10X1 (Sentido X)



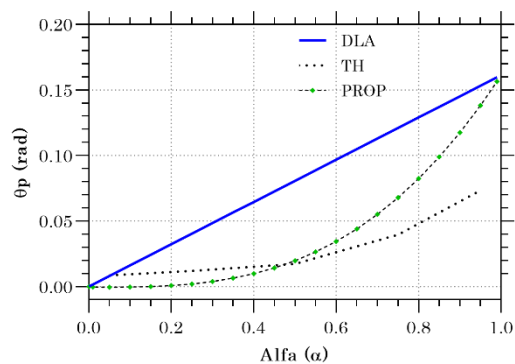
Giro Plástico Rótula 10X2 (Sentido X)



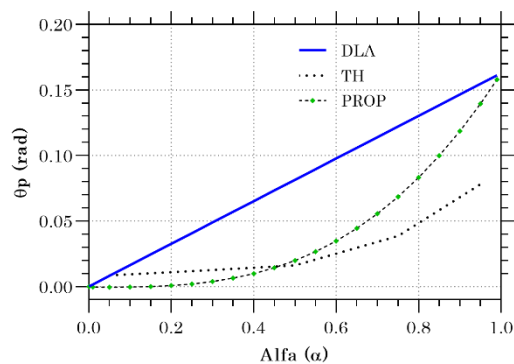
Giro Plástico Rótula 10Y1 (Sentido Y)



Giro Plástico Rótula 10Y2 (Sentido Y)



Giro Plástico Rótula M1X (Sentido X)



Giro Plástico Rótula M1Y (Sentido Y)

Gráfica 73: Propuesta de función cúbica en el cálculo de giro plástico en 6 rótulas Edificio Tipo 3

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del desarrollo mostrado en este trabajo y de los resultados obtenidos en sus diferentes secciones, se ha obtenido una serie de conclusiones sobre la evaluación del método de Doble Análisis Lineal en edificios de altura. Dicha evaluación se basa en un análisis comparativo entre el método mencionado y dos métodos no lineales de uso común.

Como parte del proceso de modelado de los casos de estudio por el método DLA, se utilizó el método de columna ancha. Esto porque el mismo simplifica el análisis estructural al considerar los muros como pórticos equivalentes, donde es más factible ubicar y analizar rótulas perfectas en muros.

7.1 Conclusiones

Se realizó la validación del método de columna ancha con el objetivo de evitar altos grados de error al momento de usar estos modelos con el método DLA. Se realizó la validación considerando que el método de elementos finitos es el más exacto.

Para los casos de estudio 1, 2 y 3 de muros aislados se tuvieron los siguientes resultados generales:

- Los períodos de vibración tuvieron errores menores al 10% y la misma distribución de participación de masas máximas.
- Los desplazamientos en el techo en ambas direcciones del análisis tuvieron errores menores al 7%.
- Los esfuerzos cortantes tuvieron errores menores al 13%, a excepción de los primeros tres pisos del caso 2 donde estuvieron entre 10% y 20%.
- Para momentos flectores se obtuvo errores menores al 13%, a excepción de los primeros 8 pisos de los 3 casos donde estuvieron entre 13% y 24%.

Para el caso de estudio A1 de muros acoplados se tuvieron los siguientes resultados generales:

- Los períodos de vibración tuvieron errores menores al 24% y una diferente distribución de participación de masas máximas con respecto a los casos 1, 2 y 3.
- Los errores en desplazamientos en el techo en ambas direcciones del análisis fueron menores al 9%.
- En esfuerzos cortantes los errores fueron menores al 17%, a excepción del último piso donde estuvieron entre 24% y 30%.
- Para momentos flectores se obtuvo errores de hasta el 25% en los primeros 15 pisos y en los restantes una alta variación entre 25% y 80%.

Adicionalmente a estos resultados, se observó que existe una transferencia de esfuerzos entre la columna equivalente y la viga de rigidez infinita solo en el caso A1 de muros acoplados, lo que podría justificar la magnitud de los errores en esfuerzos.

Por lo antes mencionado, se concluye que para los modelos de muros aislados (Edificio Tipo 1, 2 y 3), el método de columna ancha tiene un comportamiento adecuado y es factible su aplicación. Pero para el caso de muros acoplados (Edificio Tipo A1), por su alta variación en los resultados, su utilización no se consideró viable en el presente trabajo.

A fin de realizar la evaluación del método de Doble Análisis Lineal se plantearon tres indicadores de comparación: cortante basal, desplazamiento en el techo y giro plástico en rótulas.

Para éstos se puede concluir que:

- Para el cortante basal evaluado según el Push-Over se tiene un comportamiento muy parecido con errores menores al 20% para valores de α menores a 0.50. Todos están por el lado de la seguridad.

Para el cortante basal evaluado según el Time History se tiene un comportamiento parecido en los dos primeros casos (Edificio Tipo 1 y 2) con errores menores al 16% para valores de α menores a 0.75 a excepción de la dirección X del caso 2 donde por su irregularidad en planta se tiene errores de hasta el 24%. Estos comportamientos no están por el lado de la seguridad.

Para el caso 3, se aprecia un comportamiento del Time History muy variable con errores entre el 23% al 37% para valores de α menores a 0.75, esto por la influencia de los altos modos de vibración en la distribución de fuerzas dinámicas.

- Con respecto a los desplazamientos en el techo y giros plásticos de rótulas, su comportamiento difiere de manera significativa con el método DLA, pero por el lado de la seguridad.

Por lo cual con el fin de mejorar dicha aproximación del comportamiento de desplazamientos en el techo y giros plásticos en rótulas se planteó la idea del uso de una función cúbica en su fórmula de cálculo. En las gráficas de la sección 6.2 se observó que dicha modificación aproxima de una mejor manera los resultados.

Al comparar el comportamiento de las curvas de capacidad y las curvas bilineales del método DLA se determina que a medida que se utilizan valores crecientes de α , se tiene una mejor aproximación entre dichas curvas. Esto se da porque el método DLA considera una pérdida total de rigidez en las rótulas en un solo instante, mientras la curva de capacidad va perdiendo rigidez de manera progresiva. Entonces al incrementar el valor de α se permite un mayor daño, lo cual disminuye la rigidez en las rótulas plásticas y aproxima el comportamiento de las curvas.

Además, se observó en las gráficas del comportamiento de cortante basal y desplazamiento en el techo según los puntos de desempeño obtenidos por el método del Eurocódigo 8 de las curvas de capacidad y en las curvas bilineales que no existe mayor diferencia en los resultados, por lo que se deduce que la poca aproximación del método DLA para el cálculo de los desplazamientos y giros plásticos radica en la forma de cómo se reduce el espectro mediante el factor η .

Con respecto al análisis comparativo entre las dos combinaciones modales CQC y SRSS en el método de Doble Análisis Lineal se pudo observar que la influencia de dicha combinación es mínima en los tres casos de estudio. Los errores obtenidos en cortante basal y desplazamiento en el techo fueron menores al 1%.

Considerando los resultados que se ha obtenido en las diferentes secciones del presente trabajo, se ha llegado a la conclusión de que el método de Doble Análisis Lineal se puede considerar como una buena alternativa de análisis estructural de edificaciones, teniendo en cuenta que aún está en proceso de validación.

7.2 Recomendaciones y futuras líneas de investigación

A pesar del buen comportamiento del método de Doble Análisis Lineal con respecto a los métodos no lineales, todavía existen resultados que tienen una alta variación, como es el caso de los desplazamientos en el techo y giros plásticos en las rótulas. Además, por las conclusiones obtenidas sobre los factores del método analizados se recomienda una investigación a fondo de la forma de reducción del espectro mediante el factor η .

Por otra parte, se recomienda un estudio más riguroso del método de columna ancha para sistemas con muros acoplados, ya que estos aún presentan errores de consideración en su comportamiento frente al método de elementos finitos.

CAPITULO 8

8. REFERENCIAS

- Ali, M. M., & Moon, K. S. (2007). Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects. *Architectural Science Review*, 50(3), 205–223.
<https://doi.org/10.3763/asre.2007.5027>
- ASCE 41. (2013). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*.
- Bairán, J., Marí, A., & Duarte, N. (2011). *Diseño no lineal de pórticos de hormigón*. pp. 1–10.
- Bazán, E., & Meli, R. (1999). *Diseño Sísmico de Edificios*. LIMUSA.
- Bozzo, L. M., & Barbat, A. H. (2004). *Diseño Sismorresistente de Edificios: Técnicas Convencionales y Avanzadas*. REVERTÉ.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de Estructuras* (4 Edición). PEARSON.
- Computers and Structures. (2016). *ETABS*.
- Crisafulli, F. J. (2018). *Diseño Sismorresistente de Construcciones de Acero* (5 Edición). ALACERO.
- Eurocódigo 1. (2003). *Acciones en Estructuras-Parte 1-1*. AENOR.
- Eurocódigo 1990. (2003). *Bases de Cálculo de Estructuras*. AENOR.
- Eurocódigo 8. (2011). *Proyecto de Estructuras Sismorresistentes-Parte 1*. AENOR.
- FEMA 440. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*.

- Montoya, L. A. (2016). *A Direct Performance Based Seismic Design Method for Irregular Structures Applications to Concrete Structures*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Peligro Sísmico-Diseño Sismorresistente*.
- Paulay, T., & Priestley, M. J. N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. WILEY INTERSCIENCE.
- Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., & Kowalsky, M. J. (2007). *Displacement-Based Seismic Design of Structures*. IUSS Press.
- SeismoSoft. (2018). *SeismoArtif*.
- Thomsen, J. H., & Wallace, J. W. (2004). Displacement-Based Design of Slender Reinforced Concrete Structural Walls-Experimental Verification. *Journal of Structural Engineering*, 130(4), 618–630.
- Tolga, A. (2004). *Lateral Load Analysis of Shear Wall-Frame Structures*. Middle East Technical University.
- Wilson, E. L., Der Kiureghian, A., & Bayo, E. P. (1981). A Replacement for the SRSS Method in Seismic Analysis. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 9(2), 187–194.

9. ANEJOS

Anejo 1: Tablas de resultados del análisis lineal aplicado a la estructura elástica y auxiliar de los casos de estudio para el método de DLA según combinación modal CQC

EDIFICIO TIPO 1 (Estructura Elástica)				
Piso	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)
20	3934.905	0.647	3877.549	0.698
19	7576.284	0.617	7503.222	0.667
18	10263.111	0.585	10215.996	0.634
17	12215.959	0.553	12218.095	0.600
16	13682.368	0.519	13738.829	0.564
15	14867.196	0.484	14973.418	0.528
14	15869.772	0.449	16018.757	0.490
13	16728.526	0.412	16911.725	0.452
12	17515.804	0.375	17720.928	0.412
11	18324.065	0.337	18534.481	0.372
10	19245.740	0.299	19445.320	0.332
9	20308.320	0.261	20487.432	0.291
8	21453.599	0.223	21611.167	0.251
7	22635.300	0.187	22774.359	0.211
6	23823.571	0.151	23947.690	0.173
5	25016.660	0.117	25131.082	0.135
4	26155.460	0.085	26271.642	0.100
3	27102.308	0.056	27238.150	0.068
2	27743.426	0.031	27915.562	0.039
1	28046.295	0.011	28253.857	0.016

EDIFICIO TIPO 1 (Estructura Auxiliar)				
Piso	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)
20	3078.536	8.372	3078.544	8.843
19	5769.372	7.933	5769.386	8.379
18	7569.455	7.494	7569.470	7.915
17	8666.942	7.055	8666.959	7.451
16	9283.421	6.617	9283.438	6.987
15	9606.133	6.180	9606.148	6.525
14	9735.374	5.743	9735.388	6.064
13	9723.840	5.308	9723.850	5.604
12	9640.432	4.875	9640.439	5.147
11	9592.370	4.445	9592.374	4.692
10	9700.447	4.017	9700.448	4.240
9	10048.298	3.592	10048.299	3.792
8	10628.403	3.171	10628.406	3.347
7	11397.254	2.754	11397.261	2.906
6	12320.965	2.341	12320.976	2.470
5	13397.908	1.933	13397.923	2.040
4	14575.112	1.531	14575.130	1.615
3	15699.032	1.134	15699.054	1.196
2	16600.704	0.743	16600.727	0.784
1	17127.639	0.360	17127.665	0.380

EDIFICIO TIPO 2 (Estructura Elástica)				
Piso	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)
20	3419.088	0.798	3879.763	0.710
19	6599.233	0.767	7484.198	0.678
18	8973.780	0.734	10190.063	0.646
17	10708.960	0.699	12197.391	0.612
16	11999.142	0.662	13732.059	0.576
15	13016.029	0.623	14992.485	0.540
14	13850.781	0.583	16074.827	0.502
13	14536.066	0.541	17004.983	0.463
12	15144.462	0.498	17848.443	0.423
11	15767.728	0.453	18690.264	0.383
10	16496.199	0.406	19622.233	0.342
9	17364.372	0.359	20677.383	0.301
8	18327.852	0.312	21805.786	0.260
7	19348.883	0.264	22967.147	0.219
6	20400.957	0.217	24134.247	0.179
5	21478.954	0.170	25309.862	0.141
4	22521.950	0.126	26442.464	0.105
3	23394.582	0.085	27400.886	0.071
2	23987.060	0.048	28071.016	0.041
1	24265.983	0.019	28403.648	0.016

EDIFICIO TIPO 2 (Estructura Auxiliar)				
Piso	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)
20	2413.583	7.225	3131.598	6.472
19	4445.942	6.817	5844.927	6.124
18	5757.991	6.410	7657.187	5.776
17	6551.787	6.003	8755.354	5.428
16	7062.667	5.597	9359.881	5.081
15	7477.135	5.193	9660.014	4.736
14	7867.436	4.793	9757.414	4.391
13	8228.019	4.395	9708.825	4.049
12	8561.264	4.002	9590.115	3.709
11	8896.326	3.614	9517.656	3.372
10	9276.139	3.233	9621.279	3.038
9	9714.840	2.859	9990.149	2.708
8	10189.081	2.492	10613.054	2.382
7	10694.762	2.134	11438.147	2.061
6	11258.643	1.787	12422.797	1.744
5	11931.529	1.450	13559.546	1.434
4	12709.414	1.126	14788.148	1.129
3	13485.969	0.821	15947.150	0.831
2	14119.635	0.526	16865.787	0.539
1	14481.974	0.246	17394.315	0.257

EDIFICIO TIPO 3 (Estructura Elástica)				
Piso	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)
40	2704.525	1.407	2687.335	1.547
39	5444.562	1.382	5422.855	1.518
38	7691.565	1.357	7679.778	1.488
37	9467.852	1.331	9477.858	1.457
36	10815.719	1.304	10855.811	1.426
35	11804.319	1.276	11878.454	1.393
34	12516.276	1.247	12623.331	1.360
33	13038.867	1.218	13172.485	1.325
32	13462.851	1.187	13612.777	1.289
31	13861.474	1.154	14015.675	1.253
30	14287.386	1.121	14434.459	1.215
29	14760.290	1.087	14891.325	1.176
28	15264.836	1.051	15374.753	1.136
27	15780.077	1.015	15867.157	1.096
26	16284.790	0.977	16349.577	1.054
25	16773.495	0.939	16817.342	1.012
24	17245.349	0.900	17270.123	0.969
23	17696.764	0.859	17704.945	0.925
22	18135.022	0.819	18129.557	0.881
21	18565.733	0.777	18550.450	0.836
20	18996.627	0.735	18976.472	0.790
19	19424.577	0.692	19405.857	0.745
18	19833.306	0.649	19822.983	0.699
17	20214.158	0.606	20218.833	0.652
16	20565.131	0.563	20589.998	0.606

EDIFICIO TIPO 3 (Estructura Auxiliar)				
Piso	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)
40	2047.247	44.137	2047.250	45.442
39	4065.083	42.907	4065.089	44.175
38	5674.534	41.677	5674.541	42.908
37	6917.744	40.448	6917.751	41.642
36	7856.455	39.218	7856.462	40.376
35	8574.147	37.990	8574.154	39.110
34	9161.028	36.762	9161.034	37.846
33	9702.110	35.537	9702.116	36.583
32	10268.090	34.313	10268.095	35.323
31	10897.685	33.092	10897.689	34.065
30	11606.188	31.875	11606.191	32.811
29	12374.550	30.661	12374.552	31.561
28	13155.747	29.452	13155.749	30.316
27	13915.039	28.248	13915.042	29.075
26	14627.603	27.049	14627.606	27.840
25	15292.859	25.857	15292.863	26.612
24	15912.698	24.671	15912.703	25.392
23	16487.143	23.493	16487.148	24.178
22	17030.830	22.322	17030.836	22.972
21	17556.643	21.161	17556.649	21.776
20	18079.873	20.008	18079.879	20.590
19	18600.025	18.866	18600.031	19.413
18	19099.271	17.734	19099.277	18.247
17	19563.797	16.612	19563.803	17.093
16	19979.998	15.502	19980.004	15.950

15	20897.552	0.519	20945.607	0.559
14	21233.602	0.475	21304.947	0.513
13	21601.463	0.431	21693.044	0.467
12	22034.517	0.388	22141.108	0.421
11	22559.866	0.345	22675.548	0.375
10	23200.774	0.303	23320.766	0.330
9	23954.246	0.262	24076.263	0.286
8	24777.925	0.222	24902.923	0.244
7	25622.305	0.183	25754.254	0.203
6	26429.855	0.147	26574.576	0.163
5	27156.864	0.112	27320.698	0.126
4	27755.811	0.081	27943.796	0.092
3	28184.903	0.053	28398.752	0.061
2	28436.380	0.029	28673.610	0.034
1	28540.373	0.010	28793.167	0.013

15	20341.626	14.405	20341.632	14.820
14	20647.839	13.321	20647.845	13.704
13	20905.355	12.251	20905.360	12.603
12	21133.237	11.197	21133.242	11.518
11	21357.033	10.158	21357.038	10.450
10	21608.252	9.137	21608.259	9.399
9	21911.599	8.134	21911.606	8.366
8	22274.202	7.147	22274.209	7.351
7	22692.081	6.178	22692.089	6.354
6	23146.163	5.228	23146.172	5.376
5	23613.198	4.297	23613.207	4.419
4	24055.727	3.386	24055.738	3.483
3	24426.884	2.495	24426.895	2.565
2	24693.042	1.624	24693.054	1.670
1	24836.499	0.779	24836.511	0.801

Anejo 2: Tablas de resultados del análisis lineal aplicado a la estructura elástica y auxiliar de los casos de estudio para el método de DLA según combinación modal SRSS

EDIFICIO TIPO 1 (Estructura Elástica)				
Piso	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)
20	3964.959	0.647	3907.023	0.699
19	7625.808	0.617	7552.169	0.667
18	10317.192	0.585	10270.044	0.634
17	12264.475	0.553	12267.303	0.600
16	13721.841	0.519	13779.465	0.565
15	14899.342	0.484	15006.736	0.528
14	15897.617	0.448	16047.498	0.490
13	16752.861	0.412	16936.781	0.452
12	17534.521	0.375	17740.507	0.412
11	18334.352	0.337	18545.956	0.372
10	19246.588	0.299	19447.549	0.331
9	20301.187	0.261	20481.607	0.291
8	21440.412	0.223	21599.188	0.251
7	22615.545	0.186	22756.093	0.211
6	23793.403	0.151	23919.871	0.172
5	24970.294	0.117	25088.311	0.135
4	26088.495	0.085	26209.390	0.100
3	27015.008	0.056	27156.056	0.068
2	27640.739	0.031	27817.841	0.039
1	27935.664	0.011	28147.645	0.016

EDIFICIO TIPO 1 (Estructura Auxiliar)				
Piso	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)
20	3094.152	8.372	3094.160	8.843
19	5793.747	7.933	5793.760	8.379
18	7593.749	7.494	7593.764	7.915
17	8685.283	7.055	8685.300	7.451
16	9294.273	6.617	9294.290	6.987
15	9611.750	6.179	9611.766	6.525
14	9739.350	5.743	9739.364	6.064
13	9728.149	5.308	9728.159	5.604
12	9644.113	4.875	9644.120	5.147
11	9592.794	4.445	9592.797	4.692
10	9696.144	4.017	9696.145	4.240
9	10041.035	3.592	10041.036	3.792
8	10622.055	3.171	10622.058	3.347
7	11394.415	2.754	11394.423	2.906
6	12320.559	2.341	12320.570	2.470
5	13395.415	1.933	13395.430	2.040
4	14564.944	1.531	14564.962	1.615
3	15677.817	1.134	15677.839	1.196
2	16568.756	0.743	16568.780	0.784
1	17088.788	0.360	17088.813	0.380

EDIFICIO TIPO 2 (Estructura Elástica)				
Piso	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)
20	3419.960	0.805	3909.311	0.710
19	6595.792	0.774	7533.148	0.678
18	8960.643	0.740	10244.166	0.646
17	10682.592	0.705	12246.787	0.612
16	11959.948	0.668	13773.015	0.576
15	12968.209	0.628	15026.158	0.540
14	13799.577	0.588	16103.889	0.502
13	14483.763	0.545	17030.315	0.463
12	15088.647	0.502	17868.256	0.423
11	15703.433	0.456	18701.951	0.383
10	16419.802	0.409	19624.654	0.342
9	17275.637	0.362	20671.701	0.300
8	18228.057	0.314	21793.868	0.259
7	19236.202	0.266	22948.844	0.219
6	20268.223	0.218	24106.309	0.179
5	21315.389	0.172	25266.919	0.141
4	22319.170	0.127	26380.023	0.104
3	23153.089	0.086	27318.637	0.071
2	23716.485	0.048	27973.224	0.041
1	23980.704	0.019	28297.473	0.016

EDIFICIO TIPO 2 (Estructura Auxiliar)				
Piso	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)
20	2399.431	7.226	3147.528	6.472
19	4416.689	6.818	5869.788	6.124
18	5715.445	6.410	7682.106	5.776
17	6498.715	6.003	8774.420	5.429
16	7004.080	5.598	9371.503	5.082
15	7420.066	5.194	9666.365	4.736
14	7818.315	4.793	9762.072	4.392
13	8189.129	4.395	9713.796	4.049
12	8529.745	4.002	9594.420	3.709
11	8866.248	3.614	9518.612	3.372
10	9242.646	3.233	9617.404	3.038
9	9677.147	2.859	9983.279	2.708
8	10149.895	2.492	10607.077	2.382
7	10655.861	2.135	11435.487	2.061
6	11216.284	1.787	12422.094	1.744
5	11875.376	1.450	13556.056	1.434
4	12626.925	1.126	14776.247	1.129
3	13370.355	0.820	15923.631	0.831
2	13973.648	0.526	16831.218	0.539
1	14317.364	0.246	17352.770	0.257

EDIFICIO TIPO 3 (Estructura Elástica)				
Piso	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)
40	2745.210	1.408	2727.445	1.548
39	5523.908	1.383	5501.142	1.519
38	7799.110	1.357	7785.977	1.489
37	9592.977	1.331	9601.540	1.458
36	10948.051	1.305	10986.776	1.426
35	11934.326	1.277	12007.322	1.394
34	12636.019	1.248	12742.272	1.360
33	13142.946	1.218	13276.130	1.325
32	13549.069	1.187	13698.871	1.290
31	13930.950	1.155	14085.194	1.253
30	14343.673	1.121	14490.801	1.215
29	14808.302	1.087	14939.314	1.176
28	15309.279	1.051	15419.134	1.136
27	15823.984	1.015	15911.117	1.095
26	16328.959	0.977	16394.128	1.054
25	16816.581	0.938	16861.334	1.011
24	17284.435	0.899	17310.752	0.968
23	17728.336	0.859	17738.661	0.924
22	18155.993	0.818	18153.096	0.880
21	18574.338	0.777	18561.756	0.835
20	18992.756	0.734	18975.089	0.790
19	19409.981	0.692	19393.214	0.744
18	19811.293	0.649	19802.170	0.698
17	20188.581	0.605	20193.633	0.651
16	20539.437	0.562	20563.951	0.605

EDIFICIO TIPO 3 (Estructura Auxiliar)				
Piso	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante (KN)	Desplazamiento (m)
40	2062.031	44.138	2062.035	45.443
39	4092.793	42.908	4092.798	44.176
38	5710.335	41.678	5710.341	42.909
37	6956.893	40.448	6956.899	41.643
36	7894.553	39.219	7894.560	40.376
35	8607.494	37.990	8607.500	39.111
34	9187.084	36.763	9187.090	37.846
33	9720.008	35.537	9720.013	36.584
32	10278.732	34.313	10278.737	35.323
31	10903.373	33.092	10903.376	34.066
30	11609.824	31.875	11609.827	32.811
29	12378.900	30.661	12378.902	31.561
28	13162.749	29.452	13162.751	30.316
27	13925.503	28.248	13925.505	29.075
26	14641.233	27.049	14641.237	27.840
25	15308.488	25.856	15308.492	26.612
24	15928.521	24.671	15928.526	25.391
23	16501.099	23.493	16501.105	24.178
22	17041.043	22.322	17041.049	22.972
21	17561.777	21.160	17561.783	21.776
20	18079.290	20.008	18079.296	20.589
19	18593.939	18.866	18593.946	19.413
18	19088.759	17.733	19088.765	18.247
17	19550.471	16.612	19550.477	17.092
16	19965.702	15.502	19965.709	15.950

15	20873.869	0.518	20921.088	0.558
14	21212.009	0.474	21282.402	0.512
13	21579.597	0.431	21670.543	0.466
12	22007.795	0.387	22114.475	0.420
11	22522.235	0.344	22639.016	0.374
10	23145.553	0.302	23267.764	0.329
9	23875.408	0.261	24000.651	0.286
8	24671.671	0.221	24800.585	0.243
7	25487.333	0.183	25623.468	0.202
6	26267.369	0.146	26416.117	0.163
5	26969.790	0.112	27137.131	0.126
4	27548.673	0.081	27739.394	0.092
3	27963.479	0.053	28179.205	0.061
2	28206.569	0.028	28444.896	0.034
1	28307.052	0.010	28560.422	0.013

15	20328.120	14.404	20328.126	14.820
14	20636.510	13.321	20636.516	13.704
13	20896.940	12.251	20896.945	12.603
12	21127.684	11.196	21127.690	11.518
11	21353.482	10.158	21353.488	10.449
10	21605.152	9.137	21605.158	9.399
9	21906.877	8.133	21906.883	8.366
8	22265.681	7.147	22265.688	7.351
7	22677.887	6.178	22677.895	6.354
6	23125.037	5.227	23125.046	5.376
5	23584.559	4.297	23584.569	4.419
4	24019.815	3.386	24019.826	3.482
3	24384.827	2.495	24384.839	2.565
2	24646.566	1.624	24646.578	1.670
1	24787.635	0.779	24787.647	0.801

Anejo 3: Tablas de resultados de cortantes y desplazamientos por piso de los casos de estudio según el método DLA con la combinación modal CQC

Piso	Fuerza por piso (KN) DLA Edificio Tipo 1 (Sentido X)										
	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
1	22932.180	17643.497	16370.559	15479.459	14696.554	13959.445	13246.036	12546.505	11855.819	11171.125	10558.575
2	22681.731	17430.582	16150.482	15248.187	14452.947	13703.022	12976.550	12263.814	11559.830	10861.778	10237.168
3	22153.330	16993.872	15711.680	14798.699	13990.343	13226.276	12485.134	11757.418	11038.259	10324.902	9686.437
4	21374.656	16362.505	15089.925	14173.808	13358.710	12586.377	11836.182	11098.954	10369.994	9646.637	8999.054
5	20439.557	15614.570	14364.223	13454.961	12642.365	11870.696	11120.214	10382.145	9651.989	8927.200	8278.182
6	19461.163	14841.215	13623.721	12731.161	11930.695	11169.221	10427.934	9698.476	8976.561	8259.761	7617.780
7	18487.942	14080.728	12905.059	12038.197	11258.861	10516.586	9793.499	9081.656	8376.983	7677.174	7050.331
8	17521.332	13334.249	12209.328	11377.138	10627.920	9913.835	9217.941	8532.707	7854.271	7180.447	6576.836
9	16585.868	12621.581	11555.934	10767.397	10057.402	9380.665	8721.148	8071.722	7428.732	6790.107	6218.025
10	15719.516	11972.834	10973.822	10237.372	9575.341	8944.820	8330.613	7725.967	7127.417	6533.003	6000.568
11	14969.638	11422.791	10493.416	9813.936	9205.280	8626.610	8063.465	7509.417	6961.167	6416.851	5929.380
12	14313.206	10949.782	10090.208	9469.383	8916.218	8391.697	7882.004	7380.998	6885.529	6393.815	5953.575
13	13674.115	10491.447	9702.101	9140.635	8643.745	8174.190	7718.784	7271.665	6829.828	6391.571	5999.334
14	12976.351	9986.301	9268.700	8767.147	8326.811	7912.386	7511.372	7118.209	6730.050	6345.282	6001.069
15	12160.554	9387.213	8744.647	8304.353	7921.368	7562.637	7216.456	6877.624	6543.472	6212.491	5916.551
16	11195.065	8668.094	8103.812	7725.566	7400.023	7096.784	6805.084	6520.138	6239.494	5961.763	5713.590
17	9998.339	7763.864	7283.199	6968.531	6700.887	6453.139	6215.685	5984.255	5756.660	5531.662	5330.754
18	8402.365	6541.582	6155.366	5908.534	5701.184	5510.539	5328.534	5151.584	4977.854	4806.302	4653.238
19	6204.162	4840.916	4566.909	4395.749	4253.720	4124.014	4000.682	3881.080	3763.851	3648.228	3545.150
20	3222.938	2519.606	2382.314	2298.416	2229.640	2167.262	2108.192	2051.057	1995.154	1940.084	1891.031

Fuerza por piso (KN) DLA Edificio Tipo 1 (Sentido Y)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
1	23217.252	17793.387	16466.994	15545.976	14741.633	13987.167	13258.700	12545.543	11842.184	11145.485	10522.550
2	22936.607	17559.239	16229.103	15299.591	14485.393	13720.491	12981.288	12257.218	11542.833	10835.034	10202.061
3	22375.902	17100.435	15772.163	14834.952	14010.311	13233.796	12482.373	11745.726	11018.538	10297.781	9653.053
4	21577.247	16456.487	15140.784	14202.449	13372.749	12589.499	11830.467	11085.701	10350.066	9620.641	8967.977
5	20635.999	15706.351	14414.572	13483.953	12657.312	11875.133	11116.139	10370.802	9634.209	8903.564	8249.640
6	19660.595	14937.515	13679.368	12765.517	11950.797	11178.468	10428.246	9691.049	8962.190	8239.005	7591.628
7	18694.673	14184.662	12968.645	12080.158	11285.979	10532.131	9799.318	9078.898	8366.414	7659.329	7026.273
8	17738.308	13447.942	12282.647	11428.213	10663.290	9936.650	9229.975	8535.064	7847.686	7165.435	6554.561
9	16815.727	12746.878	11640.502	10828.832	10102.021	9411.504	8739.915	8079.479	7426.185	6777.750	6197.148
10	15961.726	12109.200	11069.055	10308.573	9628.617	8983.099	8355.542	7738.567	7128.367	6522.779	5980.585
11	15216.920	11564.696	10594.387	9890.531	9263.391	8669.057	8091.832	7524.685	6963.992	6407.689	5909.716
12	14552.858	11087.829	10188.714	9544.204	8972.993	8433.124	7909.597	7395.696	6887.958	6384.411	5933.796
13	13892.641	10615.846	9789.714	9206.394	8692.969	8209.426	7741.462	7282.674	6829.758	6380.836	5979.261
14	13163.416	10089.728	9339.225	8818.546	8364.013	7937.757	7526.242	7123.405	6726.123	6332.618	5980.783
15	12308.584	9464.477	8793.806	8337.798	7943.565	7575.738	7221.671	6875.708	6534.927	6197.670	5896.304
16	11297.588	8714.881	8128.124	7738.180	7404.867	7095.758	6799.260	6510.186	6225.861	5944.763	5693.757
17	10050.463	7777.192	7280.447	6958.599	6687.069	6437.041	6198.216	5965.984	5737.969	5512.819	5311.942
18	8406.222	6523.951	6128.280	5878.744	5671.245	5481.708	5301.528	5126.854	4955.700	4786.937	4636.519
19	6175.750	4805.331	4527.528	4356.986	4217.296	4090.788	3971.144	3855.541	3742.519	3631.251	3532.186
20	3192.333	2489.681	2352.032	2269.782	2203.467	2143.957	2087.993	2034.114	1981.567	1929.926	1884.004

Desplazamiento por piso (m) DLA Edificio Tipo 1 (Sentido X)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
20	0.595	0.929	1.388	1.853	2.320	2.787	3.255	3.723	4.192	4.660	5.081
19	0.566	0.883	1.317	1.757	2.199	2.642	3.085	3.529	3.972	4.416	4.815
18	0.537	0.835	1.245	1.661	2.078	2.497	2.915	3.334	3.753	4.171	4.548
17	0.507	0.787	1.173	1.564	1.957	2.351	2.745	3.139	3.533	3.927	4.282
16	0.476	0.739	1.101	1.468	1.836	2.205	2.575	2.944	3.314	3.683	4.016
15	0.444	0.690	1.027	1.370	1.714	2.059	2.404	2.749	3.094	3.440	3.750
14	0.412	0.640	0.954	1.273	1.593	1.913	2.234	2.555	2.876	3.197	3.486
13	0.378	0.590	0.881	1.175	1.471	1.768	2.064	2.361	2.658	2.955	3.222
12	0.345	0.540	0.807	1.078	1.350	1.622	1.895	2.168	2.441	2.713	2.959
11	0.310	0.489	0.733	0.981	1.229	1.478	1.726	1.975	2.224	2.473	2.698
10	0.276	0.439	0.660	0.884	1.109	1.334	1.559	1.784	2.010	2.235	2.438
9	0.242	0.389	0.587	0.788	0.989	1.191	1.393	1.595	1.796	1.998	2.180
8	0.208	0.339	0.515	0.692	0.870	1.049	1.228	1.406	1.585	1.764	1.924
7	0.174	0.290	0.443	0.598	0.753	0.909	1.064	1.220	1.375	1.531	1.671
6	0.142	0.242	0.373	0.505	0.637	0.770	0.903	1.035	1.168	1.301	1.421
5	0.111	0.195	0.304	0.413	0.523	0.633	0.744	0.854	0.964	1.074	1.173
4	0.082	0.150	0.237	0.324	0.412	0.499	0.587	0.675	0.762	0.850	0.929
3	0.055	0.107	0.172	0.237	0.302	0.368	0.433	0.498	0.564	0.629	0.688
2	0.031	0.067	0.110	0.153	0.196	0.239	0.282	0.325	0.369	0.412	0.451
1	0.012	0.030	0.051	0.072	0.094	0.115	0.136	0.157	0.178	0.199	0.218

Desplazamiento por piso (m) DLA Edificio Tipo 1 (Sentido Y)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
20	0.643	0.992	1.472	1.960	2.450	2.941	3.432	3.923	4.414	4.906	5.348
19	0.614	0.943	1.398	1.859	2.323	2.788	3.253	3.718	4.183	4.648	5.067
18	0.583	0.893	1.322	1.758	2.196	2.635	3.074	3.513	3.952	4.391	4.787
17	0.551	0.842	1.246	1.657	2.069	2.481	2.894	3.307	3.721	4.134	4.506
16	0.519	0.791	1.170	1.554	1.941	2.328	2.715	3.102	3.490	3.877	4.226
15	0.485	0.739	1.093	1.452	1.812	2.174	2.535	2.897	3.259	3.620	3.946
14	0.450	0.687	1.015	1.349	1.684	2.020	2.356	2.692	3.028	3.365	3.667
13	0.415	0.634	0.938	1.246	1.556	1.867	2.177	2.488	2.799	3.110	3.389
12	0.379	0.581	0.860	1.143	1.428	1.713	1.999	2.284	2.570	2.856	3.113
11	0.343	0.527	0.782	1.041	1.301	1.561	1.821	2.082	2.342	2.603	2.838
10	0.306	0.474	0.704	0.939	1.174	1.409	1.645	1.880	2.116	2.352	2.564
9	0.269	0.420	0.627	0.837	1.048	1.258	1.469	1.681	1.892	2.103	2.293
8	0.233	0.368	0.551	0.736	0.922	1.109	1.296	1.482	1.669	1.856	2.024
7	0.197	0.315	0.475	0.636	0.798	0.961	1.123	1.286	1.449	1.611	1.758
6	0.161	0.264	0.400	0.538	0.676	0.815	0.953	1.092	1.230	1.369	1.494
5	0.127	0.214	0.327	0.441	0.556	0.670	0.785	0.900	1.015	1.130	1.234
4	0.095	0.165	0.255	0.346	0.437	0.529	0.620	0.712	0.803	0.894	0.977
3	0.065	0.119	0.186	0.254	0.322	0.390	0.458	0.526	0.594	0.662	0.723
2	0.038	0.074	0.119	0.164	0.209	0.254	0.298	0.343	0.388	0.433	0.474
1	0.016	0.034	0.056	0.078	0.100	0.122	0.144	0.166	0.188	0.210	0.230

Fuerza por piso (KN) DLA Edificio Tipo 2 (Sentido X)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
1	20804.940	15581.368	14236.372	13352.519	12605.949	11919.183	11264.045	10627.764	10003.685	9387.985	8839.053
2	20564.113	15389.163	14047.734	13162.255	12412.521	11721.926	11062.608	10421.939	9793.339	9173.028	8619.889
3	20053.729	14989.990	13664.394	12783.645	12035.345	11344.754	10684.687	10042.823	9412.739	8790.749	8235.977
4	19303.359	14412.553	13119.795	12255.442	11518.654	10837.451	10185.652	9551.390	8928.480	8313.368	7764.606
5	18407.786	13732.438	12488.053	11652.339	10938.321	10277.333	9644.402	9028.203	8422.838	7824.916	7291.404
6	17483.290	13038.273	11851.845	11053.618	10370.994	9738.748	9133.154	8543.458	7964.053	7391.720	6881.009
7	16581.823	12367.010	11242.781	10486.725	9840.307	9241.667	8668.304	8110.017	7561.491	7019.671	6536.195
8	15707.313	11718.335	10656.994	9944.365	9335.576	8772.038	8232.439	7707.118	7191.040	6681.314	6226.500
9	14882.121	11106.419	10104.600	9433.126	8860.022	8329.783	7822.221	7328.183	6842.900	6363.632	5936.024
10	14138.459	10554.273	9605.397	8970.324	8428.693	7927.779	7448.404	6981.875	6523.662	6071.162	5667.457
11	13514.363	10090.193	9185.029	8579.795	8063.870	7586.861	7130.438	6686.293	6250.095	5819.357	5435.080
12	12980.311	9692.458	8824.082	8243.769	7749.233	7292.072	6854.683	6429.085	6011.119	5598.397	5230.201
13	12458.946	9303.799	8470.956	7914.600	7440.571	7002.415	6583.236	6175.374	5774.837	5379.333	5026.502
14	11871.820	8867.011	8075.090	7546.606	7096.563	6680.698	6282.914	5895.911	5515.888	5140.660	4805.929
15	11157.057	8338.229	7599.126	7107.537	6689.645	6303.862	5935.064	5576.395	5224.280	4876.670	4566.613
16	10286.864	7698.152	7027.096	6584.122	6209.052	5863.566	5533.725	5213.214	4898.740	4588.412	4311.689
17	9182.930	6887.052	6303.240	5922.848	5603.008	5309.544	5030.027	4758.824	4493.000	4230.869	3997.242
18	7697.319	5789.057	5316.100	5013.455	4761.496	4531.611	4313.395	4102.133	3895.368	3691.690	3510.294
19	5662.357	4271.373	3936.412	3726.578	3553.977	3397.585	3249.759	3107.038	2967.616	2830.458	2708.419
20	2934.637	2220.383	2053.525	1951.435	1868.612	1794.176	1724.172	1656.805	1591.145	1526.654	1469.337

Fuerza por piso (KN) DLA Edificio Tipo 2 (Sentido Y)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
1	24218.385	18283.964	16770.284	15773.555	14931.207	14156.031	13416.233	12697.408	11992.066	11295.926	10675.073
2	23931.985	18048.089	16532.308	15527.596	14675.515	13889.848	13139.163	12409.216	11692.605	10985.093	10353.945
3	23356.248	17582.678	16071.585	15059.632	14196.761	13398.765	12634.942	11891.382	11160.851	10439.216	9795.229
4	22534.152	16927.413	15432.477	14419.539	13550.577	12744.275	11970.982	11217.265	10476.139	9743.609	9089.635
5	21563.859	16162.508	14695.273	13689.706	12822.055	12014.432	11238.438	10481.202	9736.034	8999.106	8340.956
6	20557.903	15377.831	13947.804	12958.268	12100.335	11299.687	10529.225	9776.669	9035.633	8302.466	7647.472
7	19560.465	14608.471	13224.164	12259.250	11419.644	10634.587	9878.277	9139.020	8410.737	7689.950	7045.870
8	18569.255	13853.254	12523.888	11592.836	10780.801	10020.579	9287.663	8570.947	7864.657	7165.489	6540.636
9	17607.704	13131.442	11866.368	10979.037	10204.576	9479.254	8779.829	8095.768	7421.596	6754.179	6157.674
10	16710.403	12470.792	11278.876	10445.352	9718.913	9039.093	8383.841	7743.164	7111.867	6486.977	5928.533
11	15919.758	11902.148	10788.411	10015.857	9345.239	8718.994	8116.132	7527.139	6947.071	6373.099	5860.287
12	15207.012	11399.628	10366.644	9659.213	9049.035	8481.187	7935.641	7403.322	6879.512	6361.514	5898.900
13	14493.273	10899.218	9949.960	9310.567	8763.729	8257.169	7771.826	7299.066	6834.397	6375.252	5965.428
14	13705.467	10341.859	9479.907	8910.565	8428.610	7984.678	7560.773	7148.740	6744.340	6345.150	5989.091
15	12787.447	9683.000	8913.242	8416.097	8000.354	7620.023	7258.341	6907.712	6564.187	6225.509	5923.685
16	11716.782	8903.232	8229.440	7805.073	7455.170	7137.658	6837.200	6546.846	6262.986	5983.553	5734.792
17	10411.117	7937.791	7366.252	7016.029	6731.868	6476.439	6236.134	6004.788	5779.198	5557.532	5360.449
18	8700.690	6654.416	6197.855	5926.006	5709.286	5516.538	5336.407	5163.749	4995.890	4831.302	4685.186
19	6392.204	4902.207	4580.372	4394.085	4248.248	4119.998	4001.002	3887.487	3777.491	3669.892	3574.529
20	3314.550	2548.080	2387.446	2297.026	2227.555	2167.193	2111.624	2058.891	2007.980	1958.310	1914.370

Desplazamiento por piso (m) DLA Edificio Tipo 2 (Sentido X)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
20	0.743	0.964	1.330	1.707	2.087	2.468	2.850	3.232	3.615	3.997	4.341
19	0.712	0.918	1.262	1.616	1.974	2.333	2.693	3.052	3.412	3.772	4.096
18	0.681	0.871	1.193	1.525	1.861	2.197	2.535	2.872	3.210	3.548	3.852
17	0.647	0.823	1.123	1.434	1.747	2.062	2.377	2.692	3.007	3.323	3.607
16	0.613	0.773	1.052	1.341	1.633	1.925	2.219	2.512	2.805	3.099	3.363
15	0.576	0.723	0.981	1.248	1.518	1.789	2.061	2.332	2.604	2.876	3.121
14	0.538	0.672	0.909	1.155	1.404	1.654	1.904	2.154	2.404	2.655	2.880
13	0.499	0.620	0.837	1.062	1.290	1.518	1.747	1.976	2.206	2.435	2.641
12	0.458	0.567	0.765	0.970	1.176	1.384	1.592	1.800	2.009	2.217	2.405
11	0.417	0.514	0.692	0.877	1.064	1.251	1.439	1.627	1.815	2.003	2.172
10	0.374	0.461	0.620	0.785	0.952	1.119	1.287	1.455	1.623	1.791	1.943
9	0.331	0.408	0.548	0.694	0.842	0.990	1.138	1.287	1.435	1.584	1.718
8	0.287	0.355	0.477	0.605	0.733	0.863	0.992	1.122	1.251	1.381	1.498
7	0.243	0.302	0.407	0.517	0.627	0.738	0.849	0.960	1.071	1.183	1.283
6	0.200	0.250	0.339	0.431	0.523	0.616	0.710	0.803	0.896	0.990	1.074
5	0.158	0.200	0.272	0.347	0.423	0.499	0.575	0.651	0.727	0.803	0.872
4	0.117	0.151	0.208	0.267	0.326	0.385	0.445	0.504	0.564	0.623	0.677
3	0.080	0.106	0.148	0.191	0.235	0.279	0.322	0.366	0.410	0.454	0.493
2	0.045	0.064	0.092	0.120	0.148	0.177	0.205	0.234	0.262	0.290	0.316
1	0.018	0.028	0.041	0.054	0.068	0.081	0.095	0.108	0.122	0.136	0.148

Desplazamiento por piso (m) DLA Edificio Tipo 2 (Sentido Y)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
20	0.657	0.861	1.192	1.532	1.875	2.220	2.565	2.910	3.255	3.601	3.912
19	0.627	0.819	1.131	1.453	1.777	2.103	2.428	2.755	3.081	3.408	3.701
18	0.596	0.776	1.070	1.373	1.678	1.985	2.292	2.599	2.907	3.214	3.491
17	0.565	0.732	1.008	1.292	1.579	1.867	2.155	2.444	2.732	3.021	3.281
16	0.532	0.688	0.946	1.212	1.480	1.749	2.018	2.288	2.558	2.828	3.071
15	0.498	0.642	0.882	1.130	1.380	1.631	1.882	2.133	2.384	2.636	2.862
14	0.463	0.597	0.819	1.049	1.280	1.513	1.745	1.978	2.211	2.445	2.654
13	0.427	0.550	0.755	0.967	1.181	1.395	1.609	1.824	2.039	2.254	2.447
12	0.391	0.504	0.692	0.885	1.081	1.277	1.474	1.671	1.868	2.065	2.242
11	0.353	0.457	0.628	0.804	0.982	1.161	1.339	1.518	1.698	1.877	2.038
10	0.316	0.409	0.564	0.723	0.884	1.045	1.206	1.368	1.529	1.691	1.836
9	0.278	0.363	0.501	0.643	0.786	0.930	1.074	1.218	1.363	1.507	1.637
8	0.240	0.316	0.438	0.563	0.690	0.817	0.944	1.071	1.198	1.325	1.440
7	0.203	0.270	0.376	0.485	0.595	0.705	0.815	0.925	1.036	1.146	1.245
6	0.167	0.225	0.315	0.408	0.501	0.595	0.688	0.782	0.876	0.970	1.054
5	0.132	0.181	0.256	0.332	0.409	0.487	0.564	0.642	0.719	0.797	0.866
4	0.098	0.139	0.198	0.259	0.320	0.381	0.443	0.504	0.566	0.627	0.682
3	0.067	0.098	0.143	0.188	0.233	0.279	0.324	0.370	0.415	0.461	0.502
2	0.039	0.061	0.090	0.120	0.149	0.179	0.209	0.239	0.269	0.299	0.326
1	0.016	0.027	0.041	0.056	0.070	0.085	0.099	0.114	0.128	0.142	0.155

Fuerza por piso (KN) DLA Edificio Tipo 3 (Sentido X)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
1	21174.920	17616.245	17090.273	16760.175	16481.903	16224.915	15978.758	15738.877	15502.965	15269.729	15061.449
2	21097.371	17548.744	17021.489	16689.398	16408.944	16149.698	15901.244	15659.043	15420.797	15185.217	14974.822
3	20910.442	17390.564	16865.085	16533.046	16252.189	15992.353	15743.214	15500.273	15261.252	15024.874	14813.746
4	20592.102	17125.852	16608.416	16281.476	16004.939	15749.102	15503.799	15264.600	15029.262	14796.527	14588.653
5	20148.311	16761.079	16259.435	15944.172	15678.223	15432.526	15197.135	14967.715	14742.074	14518.977	14319.744
6	19610.153	16322.698	15844.459	15547.601	15298.733	15069.573	14850.443	14637.123	14427.478	14220.310	14035.371
7	19012.856	15839.797	15391.464	15118.955	14892.964	14686.076	14488.909	14297.373	14109.400	13923.826	13758.274
8	18388.741	15338.431	14924.807	14681.192	14482.556	14302.389	14131.619	13966.294	13804.411	13644.848	13502.657
9	17780.260	14852.172	14475.127	14262.416	14093.181	13941.796	13799.493	13662.451	13528.736	13397.262	13280.302
10	17223.855	14409.134	14067.262	13884.532	13743.901	13620.556	13506.003	13396.544	13290.304	13186.234	13093.894
11	16750.625	14032.708	13721.167	13564.349	13448.461	13349.376	13258.839	13173.252	13090.795	13010.445	12939.415
12	16362.587	13723.036	13435.277	13298.621	13201.936	13121.660	13049.730	12982.633	12918.591	12856.607	12802.076
13	16042.399	13465.054	13194.276	13071.621	12988.146	12920.756	12861.546	12807.073	12755.595	12706.133	12662.846
14	15769.937	13241.911	12981.695	12867.073	12790.962	12730.661	12678.400	12630.795	12586.132	12543.452	12506.247
15	15520.510	13033.626	12778.771	12667.204	12593.539	12535.433	12485.239	12439.628	12396.913	12356.148	12320.648
16	15273.340	12823.919	12570.818	12458.730	12383.941	12324.463	12272.773	12225.593	12181.262	12138.851	12101.851
17	15012.120	12600.357	12347.031	12232.316	12154.265	12091.266	12035.922	11985.010	11936.901	11890.678	11850.228
18	14728.566	12356.956	12102.608	11984.265	11901.896	11834.297	11774.210	11718.472	11665.484	11614.348	11569.454
19	14424.252	12095.695	11840.206	11717.925	11630.880	11558.301	11493.080	11432.119	11373.853	11317.400	11267.698
20	14105.645	11822.308	11565.780	11439.531	11347.745	11270.107	11199.666	11133.393	11069.754	11007.890	10953.294
21	13784.851	11547.072	11289.527	11159.314	11062.784	10980.083	10904.416	10832.823	10763.806	10696.523	10637.026
22	13464.173	11271.778	11013.047	10878.702	10777.261	10689.330	10608.270	10531.190	10456.627	10383.759	10319.211
23	13137.811	10991.118	10730.658	10591.586	10484.625	10390.849	10303.780	10220.595	10139.867	10060.793	9990.636
24	12801.544	10701.129	10438.016	10293.203	10179.686	10079.019	9984.889	9894.546	9806.597	9720.261	9643.542
25	12449.908	10396.799	10129.741	9977.757	9856.217	9747.178	9644.499	9545.503	9448.838	9353.742	9269.113
26	12085.541	10080.144	9807.593	9646.778	9515.524	9396.410	9283.471	9174.111	9067.013	8961.440	8867.355
27	11709.049	9751.521	9471.757	9300.280	9157.455	9026.395	8901.323	8779.719	8660.309	8542.378	8437.142

28	11324.468	9414.051	9124.997	8940.714	8784.153	8638.977	8499.595	8363.570	8229.670	8097.201	7978.852
29	10947.589	9081.230	8780.803	8581.706	8409.422	8248.151	8092.485	7940.068	7789.705	7640.729	7507.496
30	10594.077	8767.020	8453.750	8238.585	8049.382	7870.844	7697.735	7527.772	7359.801	7193.172	7044.026
31	10275.571	8483.002	8157.168	7926.537	7721.102	7526.017	7336.203	7149.444	6964.618	6781.097	6616.724
32	9977.720	8219.277	7883.709	7640.625	7422.019	7213.471	7010.043	6809.585	6611.006	6413.695	6236.889
33	9661.691	7945.257	7605.599	7355.527	7129.168	6912.553	6700.898	6492.121	6285.166	6079.439	5895.036
34	9273.324	7617.295	7282.053	7032.817	6806.345	6589.229	6376.876	6167.286	5959.445	5752.785	5567.511
35	8745.346	7179.891	6859.744	6620.715	6403.157	6194.422	5990.181	5788.546	5588.561	5389.690	5211.386
36	8012.935	6578.606	6285.295	6066.307	5866.993	5675.763	5488.650	5303.924	5120.711	4938.518	4775.168
37	7014.654	5761.297	5506.978	5317.717	5145.677	4980.713	4819.354	4660.084	4502.137	4345.083	4204.281
38	5699.024	4683.824	4480.519	4330.064	4193.598	4062.880	3935.089	3808.996	3683.978	3559.684	3448.263
39	4034.477	3318.518	3177.525	3073.939	2980.254	2890.637	2803.092	2716.749	2631.166	2546.096	2469.846
40	2004.289	1650.185	1581.838	1532.070	1487.221	1444.391	1402.591	1361.387	1320.561	1279.989	1243.631

Fuerza por piso (KN) DLA Edificio Tipo 3 (Sentido Y)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
1	21494.665	17785.407	17217.913	16862.138	16563.081	16287.493	16023.912	15767.316	15515.149	15265.973	15043.542
2	21405.112	17709.031	17141.460	16784.732	16484.487	16207.615	15942.700	15684.741	15431.194	15180.624	14956.932
3	21199.708	17537.432	16973.523	16618.440	16319.299	16043.307	15779.158	15521.898	15269.007	15019.067	14795.923
4	20860.233	17257.741	16704.083	16355.904	16062.770	15792.413	15533.711	15281.786	15034.161	14789.439	14570.963
5	20395.788	16878.802	16343.155	16008.397	15727.453	15468.779	15221.497	14980.842	14744.389	14510.774	14302.255
6	19840.113	16428.984	15918.697	15603.798	15341.240	15100.339	14870.518	14647.142	14427.853	14211.323	14018.132
7	19229.622	15938.152	15459.332	15169.847	14931.080	14713.299	14506.252	14305.449	14108.606	13914.436	13741.316
8	18596.452	15432.109	14989.166	14729.273	14518.411	14327.836	14147.637	13973.474	13803.138	13635.385	13485.986
9	17981.954	14943.435	14537.933	14309.375	14128.210	13966.653	13815.124	13669.428	13527.429	13387.927	13263.900
10	17420.565	14498.584	14128.993	13930.763	13778.428	13645.079	13521.440	13403.448	13289.036	13177.040	13077.719
11	16941.179	14119.159	13780.711	13608.855	13481.613	13372.828	13273.480	13179.621	13089.241	13001.209	12923.414
12	16543.983	13803.894	13490.294	13339.336	13231.935	13142.549	13062.377	12987.561	12916.141	12847.013	12786.197
13	16210.679	13537.060	13241.863	13106.001	13012.807	12937.262	12870.742	12809.469	12751.521	12695.818	12647.056

14	15921.535	13302.173	13019.287	12892.876	12808.366	12741.188	12682.872	12629.708	12579.810	12532.116	12490.537
15	15653.309	13080.445	12804.867	12683.122	12602.571	12539.058	12484.257	12434.521	12387.996	12343.637	12305.037
16	15387.429	12857.349	12585.468	12464.809	12384.645	12321.230	12266.380	12216.509	12169.794	12125.209	12086.383
17	15109.629	12622.067	12351.706	12229.845	12147.751	12082.105	12024.870	11972.524	11923.278	11876.124	11834.962
18	14813.200	12369.845	12099.858	11975.472	11890.075	11820.806	11759.784	11703.557	11650.368	11599.231	11554.460
19	14500.765	12103.455	11833.275	11705.639	11616.176	11542.502	11476.902	11415.997	11358.067	11302.146	11253.043
20	14179.101	11828.845	11558.090	11426.734	11332.708	11254.124	11183.437	11117.341	11054.156	10992.935	10939.036
21	13859.902	11555.939	11284.181	11148.702	11049.719	10965.834	10889.668	10817.992	10749.161	10682.251	10623.205
22	13544.481	11285.761	11012.478	10872.390	10767.975	10678.316	10596.204	10518.479	10443.537	10370.472	10305.860
23	13226.173	11012.368	10736.746	10591.213	10480.520	10384.240	10295.332	10210.710	10128.805	10048.734	9977.791
24	12900.080	10731.294	10452.211	10300.034	10181.848	10077.723	9980.790	9888.040	9797.940	9709.631	9631.246
25	12560.356	10437.254	10153.258	9992.858	9865.564	9751.965	9645.371	9542.852	9442.915	9344.723	9257.414
26	12209.203	10131.923	9841.349	9670.954	9532.749	9407.863	9289.789	9175.678	9064.080	8954.177	8856.301
27	11846.851	9815.368	9516.414	9334.114	9183.063	9044.943	8913.436	8785.777	8660.558	8536.986	8426.778
28	11476.761	9490.259	9180.821	8984.443	8818.354	8664.799	8517.656	8374.243	8233.195	8093.746	7969.217
29	11113.150	9168.838	8846.949	8634.596	8451.589	8280.728	8116.081	7955.049	7796.311	7639.122	7498.598
30	10769.293	8863.193	8527.722	8298.458	8097.651	7908.623	7725.622	7546.128	7368.860	7193.094	7035.823
31	10454.066	8582.763	8234.589	7989.571	7772.196	7566.263	7366.186	7169.517	6975.010	6781.965	6609.117
32	10151.186	8316.229	7958.975	7701.937	7471.755	7252.692	7039.320	6829.260	6621.301	6414.763	6229.747
33	9821.107	8032.601	7672.789	7409.970	7173.146	6947.084	6726.532	6509.185	6293.875	6079.939	5888.237
34	9410.650	7689.171	7336.116	7076.021	6840.841	6615.977	6396.393	6179.884	5965.325	5752.085	5560.975
35	8855.000	7232.549	6897.532	6649.994	6425.902	6211.518	6002.104	5795.582	5590.896	5387.452	5205.110
36	8092.806	6611.164	6306.226	6081.233	5877.667	5682.973	5492.820	5305.312	5119.481	4934.784	4769.250
37	7066.005	5775.660	5512.960	5320.053	5145.852	4979.395	4816.903	4656.719	4497.999	4340.269	4198.918
38	5726.004	4684.271	4475.583	4323.443	4186.457	4055.746	3928.247	3802.617	3678.174	3554.532	3443.744
39	4043.688	3311.307	3167.459	3063.535	2970.311	2881.517	2794.990	2709.782	2625.412	2541.608	2466.530
40	2004.124	1642.994	1573.686	1524.161	1479.937	1437.907	1397.001	1356.749	1316.911	1277.354	1241.923

Desplazamiento por piso (m) DLA Edificio Tipo 3 (Sentido X)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
40	1.362	3.552	6.119	8.692	11.268	13.844	16.420	18.996	21.573	24.149	26.467
39	1.335	3.461	5.955	8.456	10.959	13.463	15.966	18.470	20.973	23.477	25.730
38	1.307	3.370	5.792	8.220	10.650	13.081	15.512	17.943	20.374	22.805	24.992
37	1.279	3.278	5.628	7.984	10.341	12.699	15.058	17.416	19.774	22.133	24.255
36	1.250	3.186	5.463	7.747	10.032	12.317	14.603	16.889	19.175	21.461	23.518
35	1.221	3.094	5.299	7.510	9.722	11.936	14.149	16.362	18.576	20.789	22.781
34	1.191	3.001	5.134	7.272	9.413	11.554	13.695	15.836	17.977	20.118	22.045
33	1.160	2.908	4.968	7.035	9.103	11.172	13.241	15.310	17.379	19.448	21.310
32	1.128	2.814	4.803	6.797	8.794	10.791	12.788	14.785	16.782	18.779	20.577
31	1.095	2.719	4.637	6.560	8.485	10.410	12.335	14.261	16.186	18.112	19.845
30	1.061	2.624	4.470	6.322	8.176	10.030	11.884	13.738	15.592	17.446	19.115
29	1.027	2.529	4.304	6.085	7.868	9.650	11.433	13.216	14.999	16.782	18.387
28	0.992	2.433	4.138	5.848	7.560	9.272	10.984	12.696	14.409	16.121	17.662
27	0.956	2.338	3.972	5.612	7.253	8.895	10.537	12.178	13.820	15.462	16.940
26	0.920	2.242	3.806	5.376	6.948	8.519	10.091	11.663	13.234	14.806	16.221
25	0.883	2.145	3.641	5.141	6.643	8.145	9.647	11.149	12.652	14.154	15.506
24	0.845	2.049	3.476	4.907	6.340	7.773	9.206	10.639	12.072	13.505	14.795
23	0.807	1.953	3.311	4.674	6.038	7.402	8.767	10.131	11.496	12.860	14.088
22	0.768	1.857	3.147	4.442	5.738	7.034	8.331	9.627	10.923	12.220	13.386
21	0.729	1.761	2.984	4.211	5.440	6.668	7.897	9.126	10.355	11.584	12.690
20	0.689	1.665	2.822	3.982	5.144	6.305	7.467	8.629	9.791	10.953	11.999
19	0.649	1.570	2.660	3.755	4.850	5.945	7.041	8.136	9.232	10.328	11.314
18	0.609	1.475	2.500	3.529	4.558	5.588	6.618	7.648	8.678	9.708	10.635
17	0.569	1.380	2.341	3.304	4.269	5.234	6.199	7.164	8.129	9.094	9.962
16	0.529	1.286	2.183	3.082	3.983	4.883	5.784	6.684	7.585	8.486	9.296
15	0.489	1.193	2.026	2.862	3.699	4.536	5.373	6.211	7.048	7.885	8.638
14	0.448	1.100	1.871	2.645	3.419	4.194	4.968	5.742	6.517	7.291	7.988

13	0.408	1.009	1.719	2.430	3.143	3.855	4.568	5.280	5.993	6.705	7.347
12	0.369	0.919	1.568	2.218	2.870	3.521	4.173	4.825	5.476	6.128	6.714
11	0.329	0.830	1.419	2.010	2.601	3.193	3.784	4.376	4.968	5.559	6.092
10	0.291	0.742	1.273	1.805	2.337	2.870	3.402	3.935	4.467	5.000	5.479
9	0.253	0.656	1.129	1.603	2.077	2.552	3.027	3.501	3.976	4.450	4.877
8	0.216	0.572	0.988	1.405	1.822	2.240	2.657	3.075	3.492	3.910	4.286
7	0.181	0.490	0.850	1.211	1.572	1.934	2.295	2.656	3.018	3.379	3.705
6	0.147	0.409	0.715	1.021	1.327	1.634	1.940	2.246	2.553	2.859	3.135
5	0.115	0.332	0.584	0.836	1.088	1.340	1.593	1.845	2.097	2.350	2.577
4	0.085	0.257	0.456	0.655	0.855	1.054	1.253	1.453	1.652	1.851	2.031
3	0.057	0.186	0.333	0.480	0.627	0.774	0.922	1.069	1.216	1.363	1.496
2	0.033	0.118	0.214	0.310	0.406	0.502	0.598	0.695	0.791	0.887	0.974
1	0.013	0.055	0.101	0.147	0.194	0.240	0.286	0.333	0.379	0.425	0.467

Desplazamiento por piso (m) DLA Edificio Tipo 3 (Sentido Y)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
40	1.485	3.718	6.349	8.988	11.629	14.271	16.912	19.554	22.196	24.837	27.215
39	1.453	3.622	6.179	8.744	11.310	13.877	16.444	19.011	21.579	24.146	26.456
38	1.422	3.526	6.009	8.499	10.991	13.483	15.976	18.469	20.962	23.454	25.698
37	1.390	3.429	5.838	8.254	10.671	13.089	15.508	17.926	20.344	22.763	24.939
36	1.357	3.332	5.667	8.008	10.351	12.695	15.039	17.383	19.727	22.071	24.181
35	1.323	3.235	5.495	7.762	10.031	12.301	14.571	16.841	19.111	21.380	23.423
34	1.289	3.137	5.323	7.516	9.711	11.907	14.103	16.298	18.494	20.690	22.666
33	1.254	3.038	5.151	7.270	9.391	11.513	13.635	15.757	17.878	20.000	21.910
32	1.218	2.939	4.978	7.024	9.071	11.119	13.167	15.216	17.264	19.312	21.155
31	1.182	2.840	4.805	6.778	8.752	10.726	12.701	14.675	16.650	18.625	20.402
30	1.144	2.740	4.633	6.532	8.433	10.334	12.235	14.137	16.038	17.940	19.651
29	1.106	2.640	4.460	6.286	8.114	9.942	11.771	13.600	15.428	17.257	18.903
28	1.067	2.539	4.287	6.041	7.796	9.552	11.308	13.064	14.820	16.576	18.157

27	1.028	2.439	4.114	5.796	7.479	9.163	10.847	12.531	14.214	15.898	17.414
26	0.988	2.338	3.942	5.552	7.164	8.775	10.387	11.999	13.611	15.223	16.674
25	0.948	2.237	3.770	5.309	6.849	8.390	9.930	11.471	13.011	14.552	15.939
24	0.907	2.136	3.599	5.067	6.536	8.006	9.475	10.945	12.415	13.885	15.208
23	0.865	2.036	3.428	4.826	6.225	7.624	9.023	10.423	11.822	13.221	14.481
22	0.824	1.935	3.258	4.586	5.915	7.244	8.574	9.903	11.233	12.562	13.759
21	0.781	1.835	3.089	4.348	5.607	6.867	8.127	9.388	10.648	11.908	13.042
20	0.739	1.735	2.921	4.111	5.302	6.493	7.685	8.876	10.068	11.259	12.332
19	0.696	1.636	2.754	3.876	4.999	6.122	7.245	8.369	9.492	10.616	11.627
18	0.653	1.537	2.588	3.642	4.698	5.754	6.810	7.866	8.922	9.978	10.929
17	0.611	1.438	2.423	3.411	4.400	5.389	6.379	7.368	8.357	9.347	10.237
16	0.568	1.340	2.260	3.182	4.105	5.028	5.951	6.875	7.798	8.722	9.553
15	0.525	1.243	2.098	2.955	3.813	4.671	5.529	6.387	7.245	8.104	8.876
14	0.482	1.147	1.938	2.731	3.524	4.318	5.112	5.906	6.699	7.493	8.208
13	0.440	1.052	1.779	2.509	3.239	3.969	4.700	5.430	6.161	6.891	7.548
12	0.397	0.958	1.623	2.290	2.958	3.626	4.294	4.962	5.629	6.297	6.898
11	0.356	0.866	1.470	2.075	2.681	3.288	3.894	4.500	5.106	5.713	6.258
10	0.315	0.775	1.318	1.864	2.409	2.955	3.501	4.046	4.592	5.138	5.629
9	0.275	0.685	1.170	1.656	2.142	2.628	3.114	3.600	4.087	4.573	5.010
8	0.235	0.598	1.024	1.451	1.879	2.307	2.734	3.162	3.590	4.017	4.402
7	0.197	0.512	0.881	1.251	1.621	1.991	2.361	2.732	3.102	3.472	3.805
6	0.161	0.429	0.742	1.055	1.369	1.682	1.996	2.310	2.624	2.937	3.220
5	0.127	0.348	0.606	0.864	1.122	1.381	1.639	1.897	2.156	2.414	2.647
4	0.094	0.270	0.474	0.678	0.882	1.086	1.290	1.494	1.698	1.902	2.086
3	0.065	0.195	0.346	0.496	0.647	0.798	0.948	1.099	1.250	1.401	1.536
2	0.038	0.124	0.222	0.321	0.419	0.517	0.616	0.714	0.813	0.911	1.000
1	0.016	0.058	0.105	0.152	0.200	0.247	0.295	0.342	0.390	0.437	0.480

Anejo 4: Tablas de resultados de cortantes y desplazamientos por piso de los casos de estudio según el método de DLA con la combinación modal SRSS

Cortante por piso (KN) DLA Edificio Tipo 1 (Sentido X)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
1	22843.695	17576.711	16310.051	15423.893	14645.600	13912.990	13204.038	12508.951	11822.704	11142.451	10533.899
2	22599.739	17368.917	16094.865	15197.388	14406.667	13661.161	12939.072	12230.706	11531.092	10837.413	10216.742
3	22083.891	16941.951	15665.202	14756.640	13952.461	13192.495	12455.429	11731.786	11016.702	10307.424	9672.636
4	21321.775	16323.254	15055.126	14142.710	13331.147	12562.305	11815.592	11081.851	10356.384	9636.529	8992.105
5	20403.408	15587.918	14340.807	13434.308	12624.385	11855.374	11107.558	10372.168	9644.705	8922.620	8276.044
6	19438.121	14824.202	13608.754	12717.980	11919.270	11159.562	10420.062	9692.410	8972.316	8257.352	7617.033
7	18473.269	14069.650	12895.037	12029.110	11250.715	10509.406	9787.311	9076.484	8372.845	7674.085	7048.197
8	17511.895	13326.771	12202.169	11370.262	10621.354	9907.612	9212.091	8527.254	7849.236	7175.844	6572.633
9	16581.272	12617.572	11551.709	10762.992	10052.866	9376.039	8716.465	8067.008	7424.007	6785.387	6213.319
10	15721.365	11973.687	10973.997	10237.010	9574.516	8943.583	8329.003	7724.011	7125.137	6530.415	5997.715
11	14979.140	11429.485	10498.957	9818.586	9209.147	8629.757	8065.937	7511.244	6962.374	6417.455	5929.454
12	14329.535	10961.630	10100.420	9478.329	8924.034	8398.460	7887.763	7385.787	6889.374	6396.735	5955.676
13	13694.967	10506.622	9715.226	9152.154	8653.812	8182.887	7726.164	7277.764	6834.673	6395.181	6001.848
14	12999.999	10003.495	9283.549	8780.135	8338.104	7922.070	7519.499	7124.817	6735.166	6348.926	6003.402
15	12187.651	9407.017	8761.869	8319.528	7934.674	7574.164	7226.259	6885.740	6549.929	6217.310	5919.909
16	11228.085	8692.519	8125.390	7744.923	7417.361	7112.201	6818.639	6531.871	6249.433	5969.930	5720.176
17	10038.679	7794.059	7310.282	6993.242	6723.457	6473.677	6234.254	6000.898	5771.406	5544.533	5341.952
18	8447.156	6575.381	6185.991	5936.788	5727.312	5534.654	5350.700	5171.844	4996.237	4822.829	4668.109
19	6245.082	4871.945	4595.195	4422.014	4278.182	4146.772	4021.792	3900.577	3781.759	3664.566	3560.087
20	3247.736	2538.468	2399.573	2314.507	2244.692	2181.333	2121.315	2063.254	2006.438	1950.465	1900.606

Cortante por piso (KN) DLA Edificio Tipo 1 (Sentido Y)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
1	23132.558	17729.690	16409.114	15492.663	14692.604	13942.335	13218.036	12509.035	11809.829	11117.282	10498.084
2	22858.877	17500.984	16176.383	15251.274	14441.229	13680.407	12945.260	12225.241	11514.905	10811.156	10181.830
3	22310.966	17052.066	15728.688	14795.459	13974.610	13201.841	12454.152	11721.241	10997.791	10280.777	9639.420
4	21528.529	16420.496	15108.720	14173.675	13347.155	12567.069	11811.207	11069.620	10337.174	9610.945	8961.163
5	20603.159	15682.294	14393.304	13465.108	12640.855	11861.079	11104.509	10361.615	9627.479	8899.301	8247.606
6	19639.886	14922.352	13665.897	12753.578	11940.410	11169.672	10421.073	9685.523	8958.331	8236.825	7590.967
7	18681.647	14174.911	12959.667	12071.920	11278.536	10525.535	9793.607	9074.100	8362.550	7656.412	7024.219
8	17730.291	13441.609	12276.374	11422.050	10657.312	9930.915	9224.525	8529.930	7842.888	7160.988	6550.440
9	16812.635	12744.056	11637.197	10825.171	10098.101	9407.388	8735.649	8075.094	7421.704	6773.188	6192.524
10	15965.150	12111.270	11070.173	10308.973	9628.421	8982.382	8354.354	7736.942	7126.330	6520.345	5977.804
11	15227.858	11572.485	10600.760	9895.844	9267.799	8672.649	8094.664	7526.795	6965.405	6408.423	5909.851
12	14570.374	11100.572	10199.581	9553.659	8981.219	8440.220	7915.624	7400.696	6891.958	6387.432	5935.948
13	13914.568	10631.823	9803.414	9218.351	8703.384	8218.405	7749.070	7288.954	6834.738	6384.537	5981.824
14	13188.276	10107.811	9354.726	8832.041	8375.713	7947.772	7534.637	7130.224	6731.394	6336.362	5983.167
15	12337.108	9485.316	8811.805	8353.589	7957.371	7587.672	7231.802	6884.078	6541.568	6202.602	5899.711
16	11332.029	8740.317	8150.457	7758.133	7422.687	7111.565	6813.127	6522.157	6235.968	5953.028	5700.378
17	10091.840	7808.097	7308.026	6983.681	6709.926	6457.805	6216.961	5982.759	5752.805	5525.739	5323.153
18	8451.433	6557.995	6159.007	5907.030	5697.372	5505.807	5323.674	5147.093	4974.065	4803.450	4651.379
19	6216.567	4836.224	4555.605	4383.025	4241.541	4113.351	3992.090	3874.907	3760.334	3647.532	3547.099
20	3216.864	2508.310	2369.039	2285.629	2218.296	2157.836	2100.956	2046.185	1992.762	1940.254	1893.559

Desplazamiento por piso (m) DLA Edificio Tipo 1 (Sentido X)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
20	0.595	0.929	1.388	1.853	2.320	2.787	3.255	3.723	4.191	4.660	5.081
19	0.566	0.883	1.317	1.757	2.199	2.642	3.085	3.529	3.972	4.415	4.815
18	0.537	0.835	1.245	1.661	2.078	2.497	2.915	3.334	3.752	4.171	4.548
17	0.507	0.787	1.173	1.564	1.957	2.351	2.745	3.139	3.533	3.927	4.282
16	0.476	0.739	1.101	1.468	1.836	2.205	2.574	2.944	3.313	3.683	4.016
15	0.444	0.690	1.028	1.370	1.714	2.059	2.404	2.749	3.094	3.440	3.750
14	0.412	0.640	0.954	1.273	1.593	1.913	2.234	2.555	2.876	3.197	3.485
13	0.378	0.590	0.881	1.175	1.471	1.768	2.064	2.361	2.658	2.954	3.222
12	0.344	0.540	0.807	1.078	1.350	1.622	1.895	2.168	2.440	2.713	2.959
11	0.310	0.489	0.733	0.981	1.229	1.478	1.726	1.975	2.224	2.473	2.697
10	0.276	0.439	0.660	0.884	1.108	1.334	1.559	1.784	2.009	2.235	2.438
9	0.241	0.389	0.587	0.788	0.989	1.191	1.392	1.594	1.796	1.998	2.180
8	0.207	0.339	0.515	0.692	0.870	1.049	1.227	1.406	1.585	1.764	1.924
7	0.174	0.290	0.443	0.598	0.753	0.909	1.064	1.220	1.375	1.531	1.671
6	0.142	0.242	0.373	0.505	0.637	0.770	0.903	1.035	1.168	1.301	1.420
5	0.111	0.195	0.304	0.413	0.523	0.633	0.743	0.854	0.964	1.074	1.173
4	0.082	0.150	0.237	0.324	0.412	0.499	0.587	0.675	0.762	0.850	0.929
3	0.055	0.107	0.172	0.237	0.302	0.368	0.433	0.498	0.564	0.629	0.688
2	0.031	0.067	0.110	0.153	0.196	0.239	0.282	0.325	0.369	0.412	0.451
1	0.012	0.030	0.051	0.072	0.094	0.115	0.136	0.157	0.178	0.199	0.218

Desplazamiento por piso (m) DLA Edificio Tipo 1 (Sentido Y)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
20	0.644	0.992	1.473	1.960	2.450	2.941	3.432	3.923	4.414	4.906	5.348
19	0.614	0.943	1.398	1.860	2.323	2.788	3.253	3.718	4.183	4.648	5.067
18	0.583	0.893	1.322	1.758	2.196	2.635	3.074	3.513	3.952	4.391	4.786
17	0.551	0.842	1.246	1.657	2.069	2.481	2.894	3.307	3.721	4.134	4.506
16	0.519	0.791	1.170	1.554	1.941	2.328	2.715	3.102	3.489	3.877	4.226
15	0.485	0.739	1.093	1.452	1.813	2.174	2.535	2.897	3.259	3.620	3.946
14	0.450	0.687	1.015	1.349	1.684	2.020	2.356	2.692	3.028	3.365	3.667
13	0.415	0.634	0.938	1.246	1.556	1.866	2.177	2.488	2.799	3.109	3.389
12	0.379	0.581	0.860	1.143	1.428	1.713	1.999	2.284	2.570	2.856	3.113
11	0.343	0.527	0.782	1.041	1.301	1.561	1.821	2.082	2.342	2.603	2.837
10	0.306	0.474	0.704	0.938	1.174	1.409	1.645	1.880	2.116	2.352	2.564
9	0.269	0.420	0.627	0.837	1.047	1.258	1.469	1.681	1.892	2.103	2.293
8	0.233	0.367	0.550	0.736	0.922	1.109	1.296	1.482	1.669	1.856	2.024
7	0.196	0.315	0.475	0.636	0.798	0.961	1.123	1.286	1.448	1.611	1.757
6	0.161	0.264	0.400	0.538	0.676	0.815	0.953	1.092	1.230	1.369	1.494
5	0.127	0.214	0.327	0.441	0.556	0.670	0.785	0.900	1.015	1.130	1.233
4	0.095	0.165	0.255	0.346	0.437	0.529	0.620	0.711	0.803	0.894	0.977
3	0.065	0.118	0.186	0.254	0.322	0.390	0.458	0.526	0.594	0.662	0.723
2	0.038	0.074	0.119	0.164	0.209	0.253	0.298	0.343	0.388	0.433	0.474
1	0.016	0.034	0.056	0.078	0.100	0.122	0.144	0.166	0.188	0.210	0.229

Cortante por piso (KN) DLA Edificio Tipo 2 (Sentido X)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
1	20565.136	15401.936	14071.739	13197.789	12459.760	11780.989	11133.580	10504.884	9888.307	9280.059	8737.803
2	20336.949	15219.792	13892.959	13017.449	12276.402	11593.980	10942.587	10309.711	9688.827	9076.185	8529.923
3	19851.499	14840.080	13528.289	12657.253	11917.541	11235.091	10582.953	9948.904	9326.573	8712.297	8164.447
4	19134.240	14288.051	13007.607	12152.189	11423.419	10749.877	10105.574	9478.722	8863.175	8255.401	7713.230
5	18272.117	13633.170	12399.159	11571.163	10864.157	10209.915	9583.610	8973.980	8375.153	7783.756	7256.110
6	17373.806	12958.344	11780.361	10988.489	10311.678	9685.048	9084.987	8500.786	7926.860	7360.000	6854.214
7	16489.256	12299.245	11181.892	10430.983	9789.275	9195.191	8626.323	8072.507	7528.443	6991.084	6511.625
8	15625.527	11658.170	10602.564	9894.167	9289.238	8729.431	8193.514	7671.858	7159.441	6653.377	6201.863
9	14809.586	11052.882	10055.928	9388.010	8818.141	8291.030	7786.558	7295.598	6813.392	6337.205	5912.374
10	14076.305	10508.327	9563.489	8931.362	8392.416	7894.106	7417.309	6953.354	6497.717	6047.799	5646.424
11	13462.411	10051.663	9149.676	8546.742	8032.920	7557.956	7103.566	6661.456	6227.299	5798.613	5416.190
12	12935.451	9658.852	8792.822	8214.132	7721.061	7265.327	6829.361	6405.192	5988.666	5577.396	5210.514
13	12416.898	9271.730	8440.500	7885.088	7411.864	6974.479	6556.070	6148.985	5749.236	5354.532	5002.430
14	11830.485	8834.824	8043.832	7515.621	7065.711	6649.947	6252.261	5865.363	5485.454	5110.351	4775.742
15	11118.373	8307.432	7568.513	7076.502	6658.062	6271.701	5902.323	5543.081	5190.404	4842.241	4531.696
16	10255.320	7672.309	7000.611	6556.535	6180.275	5833.584	5502.544	5180.843	4865.192	4553.698	4275.934
17	9162.113	6869.127	6283.905	5901.858	5580.335	5285.196	5004.019	4731.172	4463.719	4199.973	3964.901
18	7687.528	5779.564	5304.722	5000.158	4746.307	4514.557	4294.501	4081.420	3872.852	3667.386	3484.390
19	5660.477	4268.278	3931.484	3719.912	3545.625	3387.584	3238.136	3093.811	2952.801	2814.067	2690.618
20	2935.935	2220.447	2052.458	1949.335	1865.522	1790.121	1719.168	1650.866	1584.278	1518.868	1460.728

Cortante por piso (KN) DLA Edificio Tipo 2 (Sentido Y)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
1	24128.510	18217.016	16710.283	15718.656	14880.858	14109.993	13374.380	12659.664	11958.384	11266.272	10649.024
2	23849.269	17986.663	16477.497	15477.705	14630.038	13848.565	13101.958	12376.020	11663.372	10959.795	10332.168
3	23286.788	17531.364	16026.155	15018.672	14159.848	13365.714	12605.658	11865.805	11138.946	10420.956	9780.235
4	22481.561	16888.822	15398.689	14389.497	13523.965	12720.955	11950.883	11200.342	10462.365	9732.965	9081.796
5	21527.845	16136.240	14672.559	13669.843	12804.833	11999.759	11226.266	10471.501	9728.786	8994.299	8338.338
6	20534.610	15360.799	13933.144	12945.548	12089.425	11290.532	10521.795	9770.946	9031.606	8300.128	7646.649
7	19545.300	14597.122	13214.200	12250.415	11411.860	10627.823	9872.514	9134.248	8406.950	7687.143	7043.942
8	18559.454	13845.539	12516.782	11586.199	10774.592	10014.779	9282.264	8565.942	7860.043	7161.264	6536.759
9	17603.162	13127.433	11862.354	10974.989	10200.487	9475.121	8775.649	8091.541	7417.320	6749.855	6153.307
10	16712.737	12471.874	11279.405	10445.446	9718.607	9038.402	8382.773	7741.725	7110.059	6484.804	5926.031
11	15929.970	11909.142	10794.312	10020.948	9349.603	8722.669	8119.136	7529.486	6948.767	6374.150	5860.760
12	15224.125	11411.749	10377.143	9668.517	9057.273	8488.414	7941.887	7408.605	6883.844	6364.902	5901.444
13	14515.055	10914.714	9963.377	9322.432	8774.199	8266.314	7779.682	7305.654	6839.731	6379.342	5968.405
14	13730.393	10359.588	9495.204	8924.022	8440.404	7994.887	7569.438	7155.885	6749.981	6349.298	5991.902
15	12816.277	9703.628	8931.127	8431.912	8014.300	7632.190	7268.774	6916.439	6571.226	6230.872	5927.547
16	11751.810	8928.610	8251.742	7825.100	7473.162	7153.719	6851.384	6559.188	6273.505	5992.266	5741.887
17	10453.336	7968.764	7393.845	7041.190	6754.881	6497.426	6255.162	6021.895	5794.409	5570.864	5372.101
18	8746.916	6688.630	6228.629	5954.366	5735.538	5540.816	5358.781	5184.260	5014.566	4848.160	4700.421
19	6434.019	4933.328	4608.531	4420.203	4272.599	4142.702	4022.123	3907.061	3795.543	3686.439	3589.730
20	3339.788	2566.931	2404.569	2312.973	2242.493	2181.192	2124.722	2071.111	2019.336	1968.812	1924.110

Desplazamiento por piso (m) DLA Edificio Tipo 2 (Sentido X)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
20	0.749	0.969	1.333	1.710	2.090	2.470	2.852	3.234	3.616	3.998	4.342
19	0.718	0.922	1.265	1.619	1.977	2.335	2.694	3.054	3.413	3.773	4.097
18	0.686	0.875	1.196	1.528	1.863	2.200	2.536	2.874	3.211	3.548	3.852
17	0.653	0.826	1.126	1.436	1.749	2.064	2.378	2.693	3.008	3.323	3.607
16	0.617	0.777	1.055	1.344	1.635	1.927	2.220	2.513	2.806	3.099	3.363
15	0.580	0.726	0.984	1.251	1.520	1.791	2.062	2.333	2.605	2.876	3.121
14	0.542	0.675	0.912	1.158	1.406	1.655	1.905	2.155	2.405	2.655	2.880
13	0.503	0.623	0.840	1.065	1.292	1.520	1.748	1.977	2.206	2.435	2.641
12	0.462	0.570	0.767	0.971	1.178	1.385	1.593	1.801	2.009	2.218	2.405
11	0.420	0.517	0.694	0.879	1.065	1.252	1.440	1.627	1.815	2.003	2.172
10	0.377	0.463	0.622	0.787	0.953	1.120	1.288	1.456	1.624	1.792	1.943
9	0.333	0.410	0.550	0.696	0.843	0.991	1.139	1.287	1.436	1.584	1.718
8	0.289	0.356	0.479	0.606	0.734	0.863	0.993	1.122	1.252	1.381	1.498
7	0.245	0.303	0.408	0.518	0.628	0.739	0.849	0.960	1.072	1.183	1.283
6	0.202	0.251	0.340	0.431	0.524	0.617	0.710	0.803	0.896	0.990	1.074
5	0.159	0.201	0.273	0.348	0.423	0.499	0.575	0.651	0.727	0.803	0.872
4	0.118	0.152	0.209	0.267	0.326	0.386	0.445	0.504	0.564	0.623	0.677
3	0.080	0.107	0.148	0.192	0.235	0.279	0.322	0.366	0.410	0.453	0.493
2	0.046	0.064	0.092	0.120	0.148	0.177	0.205	0.233	0.262	0.290	0.316
1	0.018	0.028	0.041	0.054	0.068	0.081	0.095	0.108	0.122	0.135	0.148

Desplazamiento por piso (m) DLA Edificio Tipo 2 (Sentido Y)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
20	0.657	0.861	1.192	1.532	1.876	2.220	2.565	2.910	3.255	3.601	3.912
19	0.627	0.819	1.131	1.453	1.777	2.103	2.429	2.755	3.081	3.408	3.702
18	0.597	0.776	1.070	1.373	1.678	1.985	2.292	2.599	2.907	3.214	3.491
17	0.565	0.732	1.008	1.293	1.579	1.867	2.155	2.444	2.733	3.021	3.281
16	0.532	0.688	0.946	1.212	1.480	1.749	2.018	2.288	2.558	2.828	3.072
15	0.498	0.642	0.882	1.130	1.380	1.631	1.882	2.133	2.384	2.636	2.862
14	0.463	0.597	0.819	1.049	1.280	1.513	1.745	1.978	2.211	2.445	2.654
13	0.427	0.550	0.755	0.967	1.180	1.395	1.609	1.824	2.039	2.254	2.447
12	0.390	0.503	0.692	0.885	1.081	1.277	1.474	1.671	1.868	2.065	2.242
11	0.353	0.456	0.628	0.804	0.982	1.161	1.339	1.518	1.698	1.877	2.038
10	0.315	0.409	0.564	0.723	0.884	1.045	1.206	1.368	1.529	1.691	1.836
9	0.278	0.362	0.500	0.643	0.786	0.930	1.074	1.218	1.363	1.507	1.637
8	0.240	0.316	0.438	0.563	0.690	0.816	0.944	1.071	1.198	1.325	1.440
7	0.203	0.270	0.376	0.485	0.594	0.705	0.815	0.925	1.036	1.146	1.245
6	0.167	0.225	0.315	0.408	0.501	0.594	0.688	0.782	0.876	0.970	1.054
5	0.131	0.181	0.255	0.332	0.409	0.487	0.564	0.642	0.719	0.797	0.866
4	0.098	0.139	0.198	0.259	0.320	0.381	0.443	0.504	0.566	0.627	0.682
3	0.067	0.098	0.143	0.188	0.233	0.279	0.324	0.370	0.415	0.461	0.502
2	0.039	0.061	0.090	0.120	0.149	0.179	0.209	0.239	0.269	0.299	0.326
1	0.016	0.027	0.041	0.056	0.070	0.085	0.099	0.114	0.128	0.142	0.155

Cortante por piso (KN) DLA Edificio Tipo 3 (Sentido X)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
1	21002.764	17480.972	16968.573	16650.473	16383.780	16138.200	15903.363	15674.750	15450.075	15228.053	15029.853
2	20927.815	17415.600	16901.813	16581.638	16312.690	16064.780	15827.575	15596.573	15369.495	15145.061	14944.684
3	20747.089	17262.424	16750.084	16429.692	16160.086	15911.337	15673.201	15441.215	15213.119	14987.645	14786.318
4	20439.305	17006.150	16501.212	16185.373	15919.568	15674.310	15439.508	15210.765	14985.854	14763.526	14565.007
5	20010.329	16653.143	16163.012	15858.003	15601.975	15366.061	15140.383	14920.636	14704.641	14491.174	14300.596
6	19490.314	16229.091	15761.074	15473.348	15233.323	15012.887	14802.419	14597.727	14396.687	14198.110	14020.892
7	18913.309	15762.133	15322.488	15057.765	14839.321	14639.882	14450.113	14265.947	14085.324	13907.088	13748.133
8	18310.363	15277.310	14870.677	14633.349	14440.813	14266.670	14101.885	13942.521	13786.585	13632.960	13496.106
9	17722.080	14806.744	14434.972	14227.019	14062.405	13915.586	13777.819	13645.297	13516.091	13389.119	13276.206
10	17183.061	14377.120	14038.943	13859.555	13722.172	13602.036	13490.673	13384.392	13281.323	13180.419	13090.924
11	16722.768	14010.585	13701.462	13546.831	13433.067	13336.082	13247.631	13164.123	13083.739	13005.460	12936.292
12	16342.742	13706.944	13420.707	13285.417	13190.055	13111.086	13040.454	12974.650	12911.897	12851.201	12797.827
13	16026.107	13451.529	13181.756	13059.982	12977.355	12910.799	12852.417	12798.769	12748.111	12699.469	12656.919
14	15753.827	13228.369	12968.962	12855.028	12779.572	12719.912	12668.286	12621.312	12577.279	12535.225	12498.584
15	15502.849	13018.783	12764.754	12653.878	12580.866	12523.399	12473.837	12428.853	12386.761	12346.619	12311.678
16	15254.196	12807.904	12555.726	12444.410	12370.353	12311.590	12260.607	12214.129	12170.497	12128.783	12092.409
17	14993.072	12584.481	12332.129	12218.238	12140.970	12078.737	12024.151	11973.993	11926.634	11881.160	11841.382
18	14712.163	12343.274	12089.818	11972.240	11890.603	11823.722	11764.345	11709.314	11657.030	11606.596	11562.334
19	14413.339	12086.478	11831.622	11709.899	11623.392	11551.342	11486.645	11426.207	11368.462	11312.528	11263.294
20	14102.664	11819.485	11563.162	11437.117	11345.533	11268.097	11197.858	11131.786	11068.348	11006.686	10952.271
21	13791.091	11551.642	11293.764	11163.300	11066.541	10983.620	10907.737	10835.932	10766.703	10699.210	10639.525
22	13479.548	11283.639	11024.005	10888.924	10786.791	10698.185	10616.462	10538.723	10463.504	10389.983	10324.849
23	13161.014	11009.193	10747.305	10607.043	10498.957	10404.082	10315.927	10231.664	10149.862	10069.719	9998.600
24	12830.290	10723.565	10458.604	10312.234	10197.237	10095.122	9999.560	9907.794	9818.428	9730.680	9652.692
25	12481.597	10421.489	10152.289	9998.481	9875.202	9764.457	9660.090	9559.418	9461.081	9364.319	9278.193
26	12118.015	10105.335	9830.446	9667.618	9534.437	9413.431	9298.619	9187.395	9078.441	8971.017	8875.268
27	11741.311	9776.384	9494.110	9320.447	9175.521	9042.396	8915.275	8791.634	8670.194	8550.236	8443.180

28	11357.101	9439.016	9147.207	8960.496	8801.593	8654.110	8512.440	8374.138	8237.966	8103.231	7982.845
29	10982.831	9108.055	8804.462	8602.549	8427.542	8263.586	8105.255	7950.184	7797.175	7645.557	7509.949
30	10635.403	8798.474	8481.409	8262.856	8070.373	7888.600	7712.277	7539.115	7367.952	7198.138	7046.129
31	10326.614	8522.021	8191.581	7956.842	7747.431	7548.425	7354.716	7164.079	6975.386	6788.004	6620.161
32	10041.117	8268.042	7926.980	7679.016	7455.692	7242.491	7034.446	6829.390	6626.226	6424.339	6243.420
33	9738.281	8004.542	7658.561	7402.903	7171.152	6949.225	6732.300	6518.276	6306.089	6095.141	5906.045
34	9361.499	7685.923	7343.741	7088.406	6856.060	6633.161	6415.072	6199.774	5986.242	5773.902	5583.525
35	8841.128	7254.774	6927.399	6682.054	6458.422	6243.713	6033.548	5826.019	5620.159	5415.425	5231.853
36	8110.469	6655.125	6354.709	6129.543	5924.296	5727.234	5534.342	5343.866	5154.922	4967.011	4798.523
37	7106.904	5833.868	5573.020	5378.106	5200.644	5030.355	4863.717	4699.198	4536.021	4373.748	4228.256
38	5778.332	4746.346	4537.561	4382.377	4241.380	4106.213	3974.016	3843.540	3714.155	3585.505	3470.170
39	4093.002	3364.736	3219.777	3112.779	3015.830	2923.009	2832.291	2742.791	2654.064	2565.858	2486.790
40	2034.303	1673.922	1603.576	1552.094	1505.605	1461.167	1417.774	1374.987	1332.583	1290.438	1252.666

Cortante por piso (KN) DLA Edificio Tipo 3 (Sentido Y)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
1	21321.902	17650.347	17096.566	16752.815	16465.327	16201.121	15948.825	15703.456	15462.482	15224.474	15012.079
2	21235.350	17576.396	17022.393	16677.574	16388.791	16123.196	15869.464	15622.631	15380.175	15140.674	14926.929
3	21036.764	17410.248	16859.518	16516.019	16228.035	15963.022	15709.762	15463.337	15221.248	14982.086	14768.629
4	20708.547	17139.491	16598.296	16261.098	15978.546	15718.608	15470.238	15228.597	14991.224	14756.732	14547.451
5	20259.578	16772.769	16248.529	15923.849	15652.627	15403.526	15165.742	14934.539	14707.512	14483.303	14283.238
6	19722.545	16337.594	15837.366	15531.383	15277.432	15045.013	14823.607	14608.608	14397.671	14189.478	14003.780
7	19132.590	15862.817	15392.488	15110.556	14879.088	14668.501	14468.595	14274.902	14085.148	13898.054	13731.295
8	18520.521	15373.187	14937.036	14683.206	14478.211	14293.420	14118.965	13950.521	13785.889	13623.829	13479.547
9	17925.834	14899.836	14499.439	14275.452	14098.715	13941.526	13794.336	13652.959	13515.270	13380.069	13259.908
10	17381.193	14467.851	14101.840	13906.823	13757.603	13627.328	13506.742	13391.791	13280.412	13171.444	13074.846
11	16913.997	14097.698	13761.621	13591.890	13466.709	13359.956	13262.628	13170.779	13082.404	12996.374	12920.379
12	16524.114	13787.902	13475.842	13326.252	13220.171	13132.088	13053.208	12979.679	12909.543	12841.695	12782.030
13	16193.850	13523.231	13229.104	13094.170	13001.867	12927.197	12861.544	12801.133	12744.045	12689.200	12641.208

14	15904.653	13288.146	13006.158	12880.502	12796.711	12730.235	12672.613	12620.138	12570.926	12523.916	12482.952
15	15634.952	13065.180	12790.511	12669.517	12589.675	12526.854	12472.737	12423.679	12377.829	12334.143	12296.147
16	15367.937	12841.184	12570.274	12450.417	12371.011	12308.335	12254.214	12205.066	12159.072	12115.204	12077.022
17	15090.774	12606.451	12337.059	12216.006	12134.675	12069.774	12013.275	11961.660	11913.141	11866.711	11826.201
18	14797.613	12356.889	12087.728	11964.036	11879.299	11810.676	11750.291	11694.697	11642.140	11591.631	11547.425
19	14491.260	12095.393	11825.721	11698.521	11609.475	11536.211	11471.017	11410.514	11352.987	11297.466	11248.723
20	14177.973	11827.488	11556.765	11425.452	11331.474	11252.939	11182.301	11116.255	11053.120	10991.949	10938.095
21	13868.210	11562.103	11289.814	11153.908	11054.526	10970.253	10893.706	10821.652	10752.446	10685.163	10625.781
22	13561.882	11299.152	11024.765	10883.771	10778.500	10688.008	10605.073	10526.533	10450.779	10376.905	10311.567
23	13251.136	11031.742	10754.514	10607.645	10495.689	10398.175	10308.049	10222.217	10139.109	10057.839	9985.818
24	12930.175	10754.694	10473.622	10319.779	10200.011	10094.340	9995.880	9901.612	9810.003	9720.188	9640.451
25	12592.941	10462.550	10176.315	10014.021	9884.924	9769.561	9661.224	9556.972	9455.310	9355.397	9266.543
26	12242.190	10157.423	9864.451	9692.005	9551.844	9425.040	9305.069	9189.071	9075.594	8963.818	8864.259
27	11879.379	9840.352	9538.852	9354.350	9201.190	9060.998	8927.440	8797.740	8670.488	8544.889	8432.858
28	11509.577	9515.278	9203.056	9004.242	8835.810	8679.950	8530.522	8384.836	8241.523	8099.813	7973.253
29	11148.619	9195.740	8870.650	8655.470	8469.737	8296.190	8128.879	7965.196	7803.815	7643.987	7501.093
30	10810.941	8894.772	8555.460	8322.790	8118.694	7926.424	7740.208	7557.512	7377.051	7198.100	7037.966
31	10505.483	8621.910	8269.076	8019.929	7798.567	7588.707	7384.733	7184.186	6985.812	6788.906	6612.589
32	10214.910	8365.041	8002.237	7740.303	7505.401	7281.690	7063.708	6849.060	6636.528	6425.425	6236.306
33	9897.877	8091.774	7725.591	7457.185	7214.984	6983.632	6757.835	6535.270	6314.757	6095.631	5899.265
34	9498.802	7757.491	7397.461	7131.286	6890.268	6659.664	6434.393	6212.226	5992.028	5773.162	5576.997
35	8950.558	7306.942	6964.678	6710.862	6480.751	6260.456	6045.186	5832.840	5622.352	5413.118	5225.575
36	8189.957	6687.066	6375.017	6143.897	5934.467	5734.018	5538.167	5344.992	5153.516	4963.188	4792.595
37	7157.781	5847.560	5578.337	5379.834	5200.286	5028.584	4860.901	4695.556	4531.695	4368.837	4222.878
38	5804.826	4746.157	4532.001	4375.187	4233.741	4098.658	3966.832	3836.901	3708.174	3580.260	3465.635
39	4101.805	3357.017	3209.217	3101.928	3005.494	2913.556	2823.918	2735.620	2648.171	2561.296	2483.460
40	2033.904	1666.453	1595.156	1543.941	1498.108	1454.503	1412.038	1370.237	1328.858	1287.762	1250.951

Desplazamiento por piso (m) DLA Edificio Tipo 3 (Sentido X)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
40	1.363	3.552	6.119	8.693	11.268	13.844	16.420	18.996	21.572	24.148	26.466
39	1.336	3.461	5.955	8.456	10.959	13.462	15.966	18.469	20.972	23.476	25.729
38	1.308	3.370	5.792	8.220	10.650	13.081	15.511	17.942	20.373	22.804	24.991
37	1.280	3.279	5.628	7.984	10.341	12.699	15.057	17.415	19.773	22.132	24.254
36	1.251	3.187	5.463	7.747	10.032	12.317	14.603	16.888	19.174	21.460	23.517
35	1.221	3.094	5.299	7.510	9.722	11.935	14.148	16.362	18.575	20.788	22.780
34	1.191	3.001	5.134	7.272	9.413	11.553	13.694	15.835	17.976	20.117	22.044
33	1.160	2.908	4.968	7.035	9.103	11.172	13.241	15.309	17.378	19.447	21.309
32	1.128	2.814	4.802	6.797	8.793	10.790	12.787	14.784	16.781	18.778	20.575
31	1.095	2.719	4.636	6.560	8.484	10.409	12.335	14.260	16.185	18.111	19.843
30	1.061	2.624	4.470	6.322	8.175	10.029	11.883	13.737	15.591	17.445	19.113
29	1.027	2.529	4.304	6.085	7.867	9.650	11.433	13.216	14.998	16.781	18.386
28	0.992	2.433	4.138	5.848	7.560	9.271	10.984	12.696	14.408	16.120	17.661
27	0.956	2.337	3.972	5.612	7.253	8.894	10.536	12.178	13.819	15.461	16.939
26	0.919	2.241	3.806	5.376	6.947	8.518	10.090	11.662	13.234	14.805	16.220
25	0.882	2.145	3.640	5.141	6.642	8.144	9.646	11.149	12.651	14.153	15.505
24	0.845	2.049	3.475	4.907	6.339	7.772	9.205	10.638	12.071	13.504	14.794
23	0.806	1.952	3.311	4.674	6.037	7.402	8.766	10.131	11.495	12.859	14.087
22	0.768	1.856	3.147	4.442	5.737	7.034	8.330	9.626	10.923	12.219	13.386
21	0.728	1.760	2.984	4.211	5.439	6.668	7.897	9.125	10.354	11.583	12.689
20	0.689	1.664	2.821	3.982	5.143	6.305	7.467	8.628	9.790	10.952	11.998
19	0.649	1.569	2.660	3.754	4.849	5.945	7.040	8.136	9.231	10.327	11.313
18	0.609	1.474	2.499	3.528	4.557	5.587	6.617	7.647	8.677	9.707	10.634
17	0.569	1.379	2.340	3.304	4.268	5.233	6.198	7.163	8.128	9.093	9.961
16	0.528	1.285	2.182	3.082	3.982	4.883	5.783	6.684	7.584	8.485	9.296
15	0.488	1.192	2.026	2.862	3.699	4.536	5.373	6.210	7.047	7.884	8.638
14	0.448	1.100	1.871	2.644	3.419	4.193	4.967	5.742	6.516	7.291	7.988

13	0.408	1.008	1.718	2.430	3.142	3.855	4.567	5.280	5.992	6.705	7.346
12	0.368	0.918	1.567	2.218	2.869	3.521	4.172	4.824	5.476	6.127	6.714
11	0.329	0.829	1.418	2.009	2.601	3.192	3.784	4.376	4.967	5.559	6.091
10	0.290	0.741	1.272	1.804	2.337	2.869	3.402	3.934	4.467	5.000	5.479
9	0.252	0.656	1.128	1.603	2.077	2.552	3.026	3.501	3.975	4.450	4.877
8	0.216	0.571	0.987	1.405	1.822	2.239	2.657	3.074	3.492	3.909	4.285
7	0.180	0.489	0.849	1.211	1.572	1.933	2.295	2.656	3.018	3.379	3.704
6	0.146	0.409	0.715	1.021	1.327	1.633	1.940	2.246	2.552	2.859	3.134
5	0.114	0.332	0.583	0.836	1.088	1.340	1.592	1.845	2.097	2.349	2.576
4	0.085	0.257	0.456	0.655	0.855	1.054	1.253	1.452	1.652	1.851	2.030
3	0.057	0.186	0.333	0.480	0.627	0.774	0.922	1.069	1.216	1.363	1.496
2	0.033	0.118	0.214	0.310	0.406	0.502	0.598	0.695	0.791	0.887	0.973
1	0.013	0.055	0.101	0.147	0.194	0.240	0.286	0.333	0.379	0.425	0.467

Desplazamiento por piso (m) DLA Edificio Tipo 3 (Sentido Y)											
Piso	α										
	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.990
40	1.486	3.719	6.350	8.989	11.629	14.271	16.912	19.554	22.195	24.837	27.214
39	1.454	3.623	6.179	8.744	11.310	13.877	16.444	19.011	21.578	24.145	26.456
38	1.423	3.526	6.009	8.499	10.991	13.483	15.976	18.468	20.961	23.454	25.697
37	1.390	3.430	5.838	8.254	10.671	13.089	15.507	17.926	20.344	22.762	24.939
36	1.357	3.333	5.667	8.008	10.351	12.695	15.039	17.383	19.727	22.071	24.180
35	1.324	3.235	5.495	7.762	10.031	12.301	14.570	16.840	19.110	21.380	23.422
34	1.289	3.137	5.323	7.516	9.711	11.907	14.102	16.298	18.494	20.689	22.665
33	1.254	3.038	5.151	7.270	9.391	11.513	13.634	15.756	17.878	20.000	21.909
32	1.218	2.939	4.978	7.024	9.071	11.119	13.167	15.215	17.263	19.311	21.154
31	1.182	2.840	4.805	6.778	8.751	10.726	12.700	14.675	16.649	18.624	20.401
30	1.144	2.740	4.632	6.532	8.432	10.333	12.235	14.136	16.038	17.939	19.650
29	1.106	2.639	4.459	6.286	8.114	9.942	11.770	13.599	15.427	17.256	18.902

28	1.067	2.539	4.287	6.041	7.796	9.551	11.307	13.063	14.819	16.575	18.156
27	1.028	2.438	4.114	5.796	7.479	9.162	10.846	12.530	14.214	15.897	17.413
26	0.988	2.337	3.942	5.552	7.163	8.775	10.387	11.999	13.611	15.223	16.673
25	0.947	2.237	3.770	5.309	6.849	8.389	9.929	11.470	13.011	14.551	15.938
24	0.906	2.136	3.599	5.066	6.536	8.005	9.475	10.944	12.414	13.884	15.207
23	0.865	2.035	3.428	4.825	6.224	7.623	9.022	10.422	11.821	13.220	14.480
22	0.823	1.935	3.258	4.586	5.914	7.244	8.573	9.902	11.232	12.561	13.758
21	0.781	1.834	3.089	4.347	5.607	6.867	8.127	9.387	10.647	11.907	13.041
20	0.738	1.735	2.920	4.110	5.301	6.493	7.684	8.875	10.067	11.258	12.331
19	0.696	1.635	2.753	3.875	4.998	6.121	7.245	8.368	9.492	10.615	11.626
18	0.653	1.536	2.587	3.642	4.697	5.753	6.809	7.865	8.921	9.978	10.928
17	0.610	1.438	2.422	3.410	4.399	5.389	6.378	7.367	8.357	9.346	10.236
16	0.567	1.340	2.259	3.181	4.104	5.027	5.951	6.874	7.798	8.721	9.552
15	0.524	1.243	2.097	2.954	3.812	4.670	5.528	6.387	7.245	8.103	8.875
14	0.481	1.147	1.937	2.730	3.523	4.317	5.111	5.905	6.699	7.493	8.207
13	0.439	1.052	1.779	2.508	3.238	3.969	4.699	5.430	6.160	6.890	7.548
12	0.397	0.958	1.623	2.290	2.957	3.625	4.293	4.961	5.629	6.297	6.898
11	0.355	0.865	1.469	2.075	2.681	3.287	3.893	4.500	5.106	5.712	6.258
10	0.314	0.774	1.318	1.863	2.409	2.954	3.500	4.046	4.592	5.137	5.629
9	0.274	0.685	1.169	1.655	2.141	2.627	3.114	3.600	4.086	4.572	5.010
8	0.235	0.597	1.023	1.451	1.878	2.306	2.734	3.162	3.589	4.017	4.402
7	0.197	0.512	0.881	1.251	1.621	1.991	2.361	2.731	3.102	3.472	3.805
6	0.161	0.428	0.741	1.055	1.368	1.682	1.996	2.310	2.623	2.937	3.220
5	0.126	0.348	0.605	0.864	1.122	1.380	1.639	1.897	2.155	2.414	2.646
4	0.094	0.270	0.473	0.677	0.881	1.085	1.289	1.494	1.698	1.902	2.085
3	0.064	0.195	0.345	0.496	0.647	0.798	0.948	1.099	1.250	1.401	1.536
2	0.038	0.124	0.222	0.320	0.419	0.517	0.616	0.714	0.813	0.911	1.000
1	0.016	0.058	0.105	0.152	0.200	0.247	0.295	0.342	0.390	0.437	0.480

Anejo 5: Tablas de resultados de cortantes y desplazamientos en el techo según punto de desempeño obtenido por método Eurocódigo 8 en curvas de capacidad y curvas bilineales

CURVA BILINEAL DLA (Edificio Tipo 1)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.05	18585.080	0.530	18722.002	0.537
0.25	13685.992	0.536	13709.014	0.541
0.50	9405.971	0.561	9382.695	0.564
0.75	5722.452	0.791	5598.826	0.764
0.95	4987.486	2.038	4755.118	2.031

CURVA DE CAPACIDAD PUSHOVER (Edificio Tipo 1)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.05	18172.382	0.572	18615.282	0.547
0.25	15108.341	0.595	16349.486	0.570
0.50	10747.221	0.638	12182.803	0.600
0.75	6949.487	0.819	7039.276	0.701
0.95	4488.300	1.695	4350.791	1.649

CURVA BILINEAL DLA (Edificio Tipo 2)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.05	16653.381	0.622	19431.306	0.542
0.25	11988.710	0.630	14055.690	0.548
0.50	8306.532	0.666	9741.894	0.577
0.75	5377.486	0.960	6266.422	0.822
0.95	4858.927	2.081	5625.676	1.792

CURVA DE CAPACIDAD PUSHOVER (Edificio Tipo 2)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.05	16316.667	0.670	19514.727	0.540
0.25	13468.800	0.690	16911.534	0.561
0.50	10077.954	0.741	12284.947	0.587
0.75	6442.122	0.932	7213.636	0.704
0.95	4546.256	1.744	4905.955	1.579

CURVA BILINEAL DLA (Edificio Tipo 3)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.05	17620.268	1.123	17803.101	1.166
0.25	13383.763	1.130	13478.375	1.172
0.50	9088.478	1.162	9144.708	1.202
0.75	5023.031	1.452	5036.640	1.473
0.95	3794.602	5.250	3722.445	5.264

CURVA DE CAPACIDAD PUSHOVER (Edificio Tipo 3)				
α	Sentido X		Sentido Y	
	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)	Cortante Basal (KN)	Desplazamiento (m)
0.05	17483.980	1.258	18130.259	1.262
0.25	15118.583	1.298	16201.323	1.293
0.50	11300.601	1.385	12288.773	1.364
0.75	7129.889	1.742	7104.983	1.561
0.95	4320.235	3.344	4002.342	3.661